

ANTÔNIO JOSÉ PRATA AMADO DA SILVA

O USO DO GPS NAS MEDIÇÕES GEODÉSICAS
DE CURTA DISTÂNCIA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre.

CURITIBA
1990

ANTÔNIO JOSÉ PRATA AMADO DA SILVA

O USO DO GPS NAS MEDIÇÕES
GEODÉSICAS DE CURTA DISTANCIA

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas da
Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à
obtenção do grau de mestre.

CURITIBA

1991

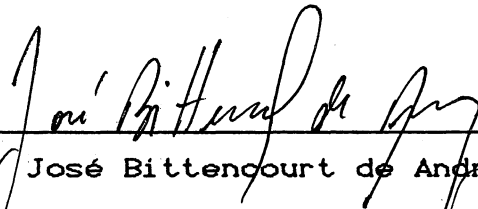
O USO DO G. P. S. NAS MEDIÇÕES
GEODÉSICAS DE CURTA DISTANCIA

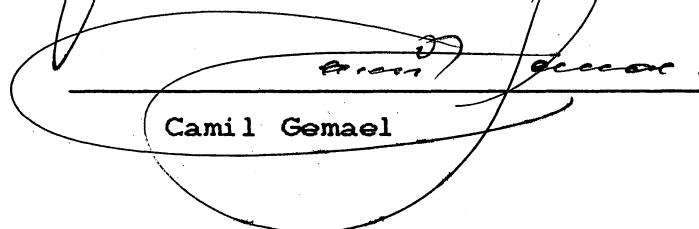
por

Antônio José Prata Amado da Silva

Dissertação aprovada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre no Curso
de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,
pela Comissão formada pelos professores:

Orientador:


José Bittencourt de Andrade


Camil Gemael


Milton Azevedo Campos

Curitiba, 14 de Janeiro de 1991

AGRADECIMENTOS

Desejo externar os meus sinceros agradecimentos às pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial:

ao professor José Bittencourt, pela orientação, apoio, incentivo e amizade;

aos professores Camil Gemael e Quintino Dalmolin, pela orientação acadêmica;

aos professores Alvaro Doubeck, Milton Campos e Carlos Nadal, pela ajuda na obtenção do distanciômetro, material bibliográfico e troca de idéias;

à CAPES, UFMG E CEFET-MG, pelo auxílio financeiro;

à GEOKOSMOS, pelo empréstimo dos receptores, viatura, pessoal para coleta e processamento dos dados GPS;

ao ITCF-PR, pelo empréstimo do conjunto de medição eletrônica de distâncias;

às empresas Georeferencial, Manfra, Casa Wild, Engefoto, Esteio e Aerosul, pelas informações prestadas;

aos colegas Jucilei, Marconi e Wellington pelo empréstimo e uso do micro computador;

ao colega Rossini, pela revisão e sugestões;

e, finalmente,

à minha esposa, pela compreensão, incentivo e abnegação no transcorrer do curso.

SUMÁRIO

	TERMO DE APROVAÇÃO.....	ii
	DEDICATÓRIA.....	iii
	AGRADECIMENTOS.....	iv
	SUMÁRIO.....	v
	LISTA DE TABELAS.....	ix
	LISTA DE FIGURAS.....	x
	LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS.....	xi
	RESUMO.....	xiv
	ABSTRACT.....	xv
1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ESCOPO.....	1
1.2	GEODÉSIA, TOPOGRAFIA E AGRIMENSURA.....	2
1.2.1	A Geodésia.....	2
1.2.2	A Topografia e a Agrimensura.....	4
1.2.3	Levantamentos geodésicos.....	5
1.2.4	Referenciais geodésicos.....	7
1.3	CONCEITOS DE POSICIONAMENTO.....	8

1.4	SISTEMAS DE POSICIONAMENTO EXTRATERRES-	
	TRE.....	9
1.4.1	Técnicas usadas no posicionamento extra-	
	terrestre.....	9
1.4.2	Exatidão x Distância.....	13
1.5	NAVSTAR-GPS.....	15
1.5.1	A origem do sistema.....	15
1.5.2	Características do sistema.....	15
1.5.3	A evolução do sistema.....	17
1.5.4	Estado atual do sistema.....	19
2	MÉTODOS RÁPIDOS DE POSICIONAMENTO.....	
2.1	INTRODUÇÃO.....	21
2.2	FASE DA PORTADORA GPS.....	24
2.2.1	Apresentação.....	24
2.2.2	O processo de medida.....	28
2.2.3	Modelo matemático.....	32
2.2.4	Modelo das diferenças de fase.....	34
2.3	O MÉTODO CINEMÁTICO.....	37
2.3.1	Descrição do método.....	37
2.3.2	O modelo matemático.....	38
2.3.3	Implementação do método.....	43
2.3.4	Experiências.....	45
2.4	O MÉTODO DO INTERCÂMBIO DE ANTENAS.....	52
2.4.1	Descrição do método.....	53
2.4.2	O modelo matemático.....	55

2.4.3	Primeira experiência com o método.....	58
2.5	O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO.....	59
2.5.1	Descrição do método.....	60
2.5.2	O modelo matemático.....	61
2.5.3	Testes e experiências.....	64
2.6	ASPECTOS RELEVANTES.....	66
2.6.1	Diferenças geométricas.....	67
2.6.2	Aspectos favoráveis x aspectos desfavoráveis.....	70
2.6.2.1	Do método cinemático.....	70
2.6.2.2	Do método do intercâmbio de antenas.....	70
2.6.2.3	Do método pseudo-cinemático.....	71
2.6.3	Perspectivas futuras.....	72
3	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	
3.1	INTRODUÇÃO.....	75
3.2	DEFINIÇÃO DOS VÉRTICES DO POLÍGONO.....	77
3.3	COLETA DOS DADOS DE CAMPO.....	82
3.3.1	Medidas eletrônicas e nivelamento geométrico.....	82
3.3.2	Uso da tecnologia GPS.....	83
3.3.2.1	Planejamento.....	83
3.3.2.2	Equipamento.....	85
3.3.2.3	Execução do método intercâmbio de antenas	86
3.3.2.4	Do método cinemático.....	91
3.3.2.5	Do método pseudo-cinemático.....	94

3.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	97
3.4.1	Das medidas eletrônicas.....	97
3.4.2	Da tecnologia GPS.....	100
4	CUSTOS E BENEFÍCIOS.....	
4.1	INTRODUÇÃO.....	106
4.2	BENEFÍCIOS.....	107
4.2.1	Efeitos tecnológicos.....	107
4.2.2	Aspectos práticos.....	109
4.3	CUSTOS.....	113
4.3.1	Dos equipamentos.....	113
4.3.2	Da prestação de serviços.....	117
4.4	O FUTURO PRÓXIMO.....	119
5	SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES.....	
5.1	SÍNTESE.....	121
5.2.	RECOMENDAÇÕES.....	124
	APÊNDICE I.....	
	Parâmetros de transformação entre WGS-84 e SAD-69.	126
	APÊNDICE II.....	
	Listagens do processamento dos dados GPS.	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	171

LISTA DE QUADROS E TABELAS

1-1	Configuração original do projeto NAVSTAR-GPS.....	16
1-2	Configuração do NAVSTAR-GPS em 1988.....	18
1-3	Configuração do projeto NAVSTAR-GPS em 1990.....	20
3-1	Exatidões especificadas nos levantamentos locais.	76
3-2	Caderneta para o método do intercâmbio de antenas.....	90
3-3	Caderneta para o levantamento cinemático.....	93
3-4	Caderneta para o método pseudo-cinemático.....	96
3-5	Resultados obtidos com o conjunto distanciômetro-teodolito.....	98
3-6	Resultados do nivelamento geométrico.....	99
3-7	Resultados dos primeiros experimentos GPS.....	101
3-8	Comparação entre os resultados dos primeiros experimentos GPS e os especificados.....	101
3-9	Resultados do levantamento cinemático com base conhecida.....	102
3-10	Resultados obtidos referentes ao levantamento cinemático com o intercâmbio de antenas.....	104
4-1	Classificação das determinações astronômicas...	110
4-2	Demonstrativo dos preços (CIF) dos equipamentos.	115
4-3	Demonstrativo do preço mensal da locação dos equipamentos.....	116
4-4	Demonstrativo referente à prestação de serviços.	118
5-1	Diferenças entre os métodos convencionais e GPS.	122
5-2	Síntese dos custos dos instrumentos.....	123

LISTA DE FIGURAS

1-1	Diagrama da exatidão x distância - referente às técnicas de posicionamento extraterrestre.....	14
2-1	Estrutura do sinal GPS.....	26
2-2	Representação conceitual de um receptor GPS de 5 canais.....	29
2-3	Configuração dos marcos no teste de Arkansas...	46
2-4	Configuração geral dos marcos no teste do NBS..	48
2-5	O intercâmbio de antenas.....	54
2-6	Diferenças geométricas entre os métodos pseudo-cinémático e cinémático.....	68
3-1	Planta de situação do local do levantamento....	78
3-2	Localização planimétrica das estações.....	80

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

NAVSTAR-GPS	-	<u>NAV</u> igation <u>S</u> ystem with <u>T</u> ime <u>A</u> nd <u>R</u> anging - <u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem
SAD-69	-	<u>S</u> outh <u>A</u> merican <u>D</u> atum - 1969
SGR-67	-	<u>S</u> istema <u>G</u> eodésico de <u>R</u> eferência - 1967
SGB	-	<u>S</u> istema <u>G</u> eodésico <u>B</u> rasileiro
WGS-84	-	<u>W</u> orld <u>G</u> eodetic <u>S</u> ystem - 1984
NNSS	-	<u>N</u> avy <u>N</u> avigation <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem
CNES	-	<u>C</u> entre <u>N</u> ational d'Etudes <u>S</u> patiales
NASA	-	<u>N</u> ational <u>A</u> dministration <u>S</u> pacial <u>A</u> gency
NOAA	-	<u>N</u> ational <u>O</u> ceanic and <u>A</u> tmospheric <u>A</u> dministration
DoD	-	<u>U</u> nited States <u>D</u> eartment of <u>D</u> efense
SLR	-	<u>S</u> atellite <u>L</u> aser <u>R</u> anging
VLBI	-	<u>V</u> ery <u>L</u> ong <u>B</u> aseline <u>I</u> nterferometry
ESA	-	<u>E</u> uropean <u>S</u> pace <u>A</u> gency
DNSS	-	<u>D</u> efense <u>N</u> avigation <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem
PRN	-	<u>P</u> seudo- <u>R</u> andom <u>N</u> oise
CSOC	-	<u>C</u> onsolidated <u>S</u> pace <u>O</u> perations <u>C</u> enter
GPPS	-	<u>G</u> PS <u>P</u> ost- <u>P</u> rocessing <u>S</u> ystem
NBS	-	<u>N</u> ational <u>B</u> ureau of <u>S</u> tandards
RMS	-	<u>R</u> oot <u>M</u> ean <u>S</u> quare
UTM	-	<u>U</u> niversal <u>T</u> ransverse <u>M</u> ercator

<u>Simbolo</u>	<u>significado</u>
MH_z	megahertz
λ	comprimento de onda
PRN	pseudo-random noise
PPS = P	código preciso
SPS = C/A	código de fácil acesso
ms	milisegundo
f_s	frequência nominal
t_T	tempo de transmissão de um sinal
ϕ_s^j	fase da portadora do j-ésimo satélite
t_R	tempo de recepção de um sinal
δt_R	representa o atraso do relógio do receptor em relação ao tempo de transmissão do sinal pelo satélite.
ϕ_R	fase da portadora gerada pelo oscilador do receptor
t_i	tempo pré-programado ou pré-estabelecido
δt_i	devido os osciladores dos receptores apresentarem imperfeições
$t_{T_i}^j$	tempo de transmissão associado com $t_i + \delta t_i$, ou tempo teórico
$m^j(i)$	medida de fase da portadora no tempo t_i
$\epsilon^j(i)$	representa ruídos na medida de fase
N^j	ambiguidade inteira de ciclos

$\tau_M^j(t_R)$	tempo de trânsito (no vácuo) da fase da portadora transmitida pelo satélite j no tempo t_T e recebida pelo receptor no tempo t_R .
c	velocidade da luz = velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo = 299792 km/s.
$\rho(t)$	distância geométrica inclinada no instante (t) entre o satélite e o receptor
$s(j, i)$	pura fase do satélite j
$SDC(j, i)$	observação da simples diferença ou da primeira diferença de fase
$DDC(j, k, i)$	observação da dupla diferença de fase sobre os satélites j e k
$TC(j, k, i)$	observação da tripla diferença de fase sobre os satélites j e k , nos instantes (i) e $(i+1)$.
PDOP	diluição da precisão tridimensional
URA	User Range Accuracy
CNT	número de informações contínuas
S/N	relação sinal/ruído
SV	veículo espacial(satélite)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar, descrever e aplicar os métodos de posicionamento adequados aos levantamentos geodésicos locais e que se utilizam dos sinais de rádio dos satélites NAVSTAR-GPS. Portanto, os métodos do Intercâmbio de antenas, Cinemático e Pseudo-Cinemático constituem o cerne desta dissertação. Em paralelo, emprega-se o medidor eletrônico de distância (MED) e o nivelamento geométrico. Uma breve análise dos custos e benefícios provocados pelo emprego da tecnologia GPS nos trabalhos geodésicos, topográficos e de agrimensura, também é apresentada.

ABSTRACT

The purpose of the present dissertation is show, describe and apply the positioning methods adequate for local geodetic surveys which to make use of the NAVSTAR-GPS satellites. Hence, the antenna exchange, kinematic and pseudo-kinematic methods constitute the heart of this work. At parallel, employ the electronic distance measurement (EDM) and the geometric levelling. Additionally, the cost/benefit relation proved by use of the GPS technology on the geodetics, topographics and rural lands surveys is presented too.

1. INTRODUÇÃO

1.1. ESCOPO

A presente dissertação objetiva descrever e aplicar métodos de posicionamento usando satélites NAVSTAR - GPS adequados aos levantamentos geodésicos locais.

Ela é apresentada abordando enfoques do geral para o específico. Assim, um paralelo entre Geodésia-Topografia e Agrimensura, bem como, uma breve explanação sobre as técnicas de posicionamento extraterrestre e a descrição do Sistema NAVSTAR-GPS, se fazem necessários.

Em termos mais específicos, os métodos cinemático, intercâmbio de antenas e o pseudo-cinemático são descritos e utilizados nas operações de campo, além do uso do conjunto de medição eletrônica de distâncias e do nivelamento geométrico.

O estudo da viabilidade de aplicação dos métodos de posicionamento com satélites GPS em medições geodésicas de curta distância, pautado nos experimentos executados e em informações obtidas junto à empresas do ramo, também faz parte desta.

Apêndices são anexados, visando facilitar o entendimento de todo o processo envolvido na obtenção das

coordenadas de pontos geodésicos referenciadas ao SAD-69.

1.2. GEODÉSIA, TOPOGRAFIA E AGRIMENSURA

O homem, mesmo antes da era cristã, tem procurado conhecer melhor o planeta que habita e todo o sistema solar, através de várias ciências. A Matemática, a Astronomia e a Física sempre figuraram como fundamentais para a pesquisa de vários fenômenos acerca do globo terrestre.

Diante de dúvidas e avanços apontados pelos físicos, matemáticos e astrônomos nos estudos envolvendo o nosso planeta emergiu uma nova ciência.

1.2.1. A Geodésia

Bomford [12], apresenta o significado literal de Geodésia como: "dividindo a Terra", tendo como primeiro objetivo fornecer um arcabouço geométrico da Terra para o controle de medidas topográficas e/ou outros levantamentos. A partir deste ponto de vista, a Geodésia tem se desenvolvido através de:

- a - Redes de triangulação, trilateração e poligonação de primeira ordem;
- b - Medida das alturas;
- c - Observações astronômicas da latitude, longitude e azimute para localizar as origens dos levantamentos e controlar as direções.

d - Movimento da crosta terrestre. Para detectar mudanças nas posições relativas de pontos sobre o terreno e em suas alturas acima do nível do mar.

No entanto, para se atingir o objetivo central anunciado surgem outras circunstâncias nas quais confunde-se a Geodésia com a Geofísica. Apesar da dificuldade em se apresentar uma linha divisória entre estas duas ciências, pode-se afirmar que a Geodésia inclui:

- e - Observação da direção da gravidade através de observações astronômicas da latitude e da longitude;
- f - Observação da intensidade da gravidade;
- g - O uso das duas observações anteriores (e) e (f) para deduzir a forma da superfície equipotencial do campo de gravidade terrestre.

Ainda compete à Geodésia, mesmo que compartilhados com outras disciplinas ou ciências, os seguintes temas:

- h - Movimento polar, compartilhado com a Geodinâmica e a Astronomia;
- i - Marés terrestres, junto com a Geofísica;
- j - A separação entre o geóide e o nível do mar, junto com a Oceanografia.
- k - Levantamentos e/ou medidas de engenharia (em que é exigida a precisão geodésica em levantamentos de pequenas áreas para finalidades especiais), compartilhado com a Engenharia.

Como se verifica, a Geodésia é uma Ciência ampla. Existem tendências, mesmo que do ponto de vista didático, em dividi-la nos segmentos: Geodésia Geométrica, Geodésia Física e Geodésia por Satélites [30], [37]. Este último segmento, se encontra em franco desenvolvimento e propagando suas influências benéficas sobre todos os outros ramos da Geodésia. Ele será alvo de maior enfoque no presente trabalho.

1.2.2. A Topografia e a Agrimensura

A Geodésia considera como superfície de referência, o elipsóide de revolução com parâmetros próprios, numericamente determinados, de acordo com a consideração da forma da Terra. Isto possibilita o estudo de grandes extensões e/ou de todo o globo terrestre.

O sentido etimológico da palavra Topografia é "descrição do lugar" e como ciência aplicada, baseada na Geometria e na Trigonometria planas, se incumbe de estudar parte da superfície terrestre, considerando-a plana, se constituindo, portanto, em um capítulo da Geodésia [19].

Em seu turno, a topografia pode ser dividida em: topometria (planimetria e altimetria), topologia, taqueometria e fotogrametria. Ela se incumbe em representar, por uma projeção ortogonal cotada, todos os detalhes naturais e/ou artificiais de uma pequena parte do globo terrestre.

A primeira tarefa da Topografia foi a medida de superfícies agrárias, executada pelos povos antigos: egípcios, gregos e romanos. Por tal razão, era chamada "agrimensura" |15|.

Etimologicamente, Agrimensura significa "medida dos campos" se incumbindo dos problemas relacionados com a divisão de terras, incluindo estudos sobre a legislação de terras, marcha processual para a execução dos trabalhos, divisão de terrenos em lotes, bem como suas demarcações e a execução das novas plantas de cada lote.

A Topografia e a Agrimensura adotam os mesmos métodos de projeção, ou seja, a ortogonal. Tal projeção é feita sobre uma superfície de nível definida por um plano normal à vertical do ponto médio de uma parte limitada da superfície terrestre. Considera-se que as verticais dos pontos contidos nesta porção em estudo sejam paralelas. Isto não ocorre nos trabalhos geodésicos de grandes extensões. Esta superfície de nível denomina-se plano topográfico |19|.

Assim, pode-se afirmar que a Geodésia, a Topografia e a Agrimensura são complementares para o estudo harmonioso da forma, dimensão, campo gravífico e representação gráfica do planeta que habitamos.

1.2.3. Levantamentos geodésicos

Os levantamentos geodésicos se realizam em conformidade com especificações e normas que procuram

colimar a unicidade desejável para o sistema geodésico. Os levantamentos são classificados, de forma a expressar o grau de confiabilidade dos resultados finais, segundo as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro |13|:

Terminologia clássica - de primeira, de segunda, e de terceira ordem.

Terminologia moderna - de alta precisão, de precisão, e para fins topográficos.

Nesta classificação considera-se o escalonamento dos trabalhos a nível nacional, regional e local, estabelecendo uma ligação rígida entre a exatidão¹ das coordenadas finais e o âmbito dos levantamentos. Conforme as especificações e normas acima referidas, tem-se:

- Os levantamentos de alta precisão, de âmbito nacional, subdividem-se, em científico e fundamental, sendo este voltado ao estabelecimento de pontos primários (rede de 1^a ordem);
- Os levantamentos de precisão, de âmbito regional, condicionam-se ao grau de desenvolvimento sócio-econômico;
- Os levantamentos geodésicos para fins topográficos, de âmbito local, seguem critérios em que a exatidão prevalece sobre simplificações impostas para

¹, é oportuno salientar dois conceitos, segundo |13|:

Exatidão - "expressa o grau de aderência do melhor valor para as observações em relação ao valor verdadeiro".

Precisão - "expressa o grau de aderência das observações umas às outras".

a figura da Terra, dirigindo-se ao atendimento dos levantamentos no plano topográfico, conforme secção 1.2.2..

1.2.4. Referenciais geodésicos

Os trabalhos geodésicos envolvem um considerável número de referenciais. Alguns solidários à Terra, e portanto, relacionados com certas características físicas do planeta. Outros são definidos arbitrariamente, visando facilitar a manipulação matemática do problema fundamental de posicionamento de pontos [22], [51].

Para o Sistema Geodésico Brasileiro (S.G.B), a imagem geométrica da Terra é definida pelo elipsóide de referência internacional de 1967 (SGR-67). O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, em Imbituba, no litoral de Santa Catarina.

O Sistema Geodésico Brasileiro integra o Sul-Americano de 1969 (SAD-69), definido a partir dos parâmetros apresentados no apêndice I desta dissertação.

O posicionamento de pontos da superfície terrestre através de sistemas de satélites depende de parâmetros de transformações de referenciais geodésicos. No caso específico do posicionamento de pontos em território brasileiro, utilizando-se do sistema NAVSTAR-GPS, há necessidade de apresentar parâmetros de transformação entre o WGS-84 (utilizado pelo sistema GPS) e o SAD-69 (empregado

no Brasil), |11|, |51| e |55|. Eles podem ser encontrados no apêndice I.

1.3. CONCEITOS DE POSICIONAMENTO

Por posicionamento, entende-se como a determinação de posições de objetos móveis ou estacionários, segundo Vanicek and Krakivsky^{*2}. Tais posições podem ser determinadas:

- i - em relação a um "bem-definido" sistema de coordenadas, usualmente por três valores de coordenadas. Para detalhes, ver |22|, |51|.
- ii - em relação a outro ponto, tomando-se um ponto como a origem de um sistema de coordenadas local.

O modo i é conhecido como posicionamento por ponto, no qual o emprego de um sistema geocêntrico (origem coincidindo com o centro de massas da Terra) é usual. Utiliza-se também o termo "posicionamento absoluto", especialmente em aplicações cinemáticas.

O modo ii é conhecido como "posicionamento relativo", também chamado de "posicionamento diferencial".

Em relação ao objeto a ser posicionado, se ele for estacionário, fala-se do posicionamento estático, e se o objeto for móvel, fala-se do posicionamento cinemático.

No próximo capítulo, será dado maior ênfase aos

* Vanicek, P. and Krakivsky, E.J.. Geodesy: The Concepts. 2ed. rev. ed., North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1986. Citado por Welle |54|.

métodos de posicionamento.

1.4. SISTEMAS DE POSICIONAMENTO EXTRATERRESTRE

A comunidade geodésica internacional tem presenciado uma verdadeira revolução técnico-científica nas três últimas décadas. A exatidão do posicionamento geodésico tem aumentado por mais de duas ordens de magnitude. Tais avanços são atribuídos, principalmente, ao desenvolvimento de sistemas baseados nas técnicas de instrumentação extraterrestres.

1.4.1. Técnicas usadas no posicionamento extraterrestre

Os estudos e aplicações de partes isoladas do espectro eletromagnético proporcionaram a concepção de variadas técnicas de posicionamento extraterrestre. Na presente subsecção, serão apresentadas algumas delas de forma sucinta, objetivando oferecer ao leitor, uma visão global das mesmas e a aplicabilidade do sistema NAVSTAR-GPS.

Os sistemas ópticos utilizam a parte visível do espectro eletromagnético. Incluem o posicionamento astronômico e a medida de distância por laser.

Vários sistemas utilizando a porção de rádio do espectro eletromagnético foram desenvolvidos para rastreamento de satélites e determinação de suas órbitas.

Dentre vários sistemas americanos, o SECOR (Sequential Collation of Range), foi desenvolvido especificamente para objetivos de posicionamento |12|, |54|.

O estudo do efeito Doppler |37| (descoberto pelo físico austríaco Christian Doppler, no século XIX) dos sinais de rádio do Sputnik 1 (satélite russo, 1957) permitiu determinar a órbita dos satélites e posteriormente, a posição da estação terrestre considerando conhecida a posição do satélite |54|. Isto levou à criação do Navy Navigation Satellite System - NNSS - ou sistema Transit, pelos americanos. Em 1961, foi lançado o primeiro protótipo de Satélite Transit. Em 1964, o sistema foi declarado operacional. No entanto, somente em 1967, ele se tornou disponível para o uso civil |01| e |14|.

O NNSS, a partir de 1967, contribuiu sobre maneira para o avanço da Geodésia e ciências afins, bem como, na navegação. Pryor |39|, relata sobre o estágio atual do sistema.

A União Soviética tem um sistema similar ao NNSS, chamado Tsicada.

O sistema ARGOS, resultado de um projeto cooperativo entre o Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) da França, a NASA e o U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), em contraste ao Sistema Transit, tem os transmissores operados pelos usuários e os receptores se localizam nos satélites. Também usa o efeito Doppler para posicionamento |54|.

O NAVigation System using Time And Ranging (NAVSTAR) - Global Positioning System (GPS) é um sistema de posicionamento baseado em satélites, cujo projeto e desenvolvimento é tarefa do DoD (United States Department of Defense). Quando plenamente desenvolvido (década de 1990) o sistema terá uma constelação com 24 satélites, sendo que, no mínimo quatro (4) destes estarão visíveis a qualquer tempo e em qualquer lugar do globo terrestre. Na secção 1.5, o sistema NAVSTAR-GPS será melhor apresentado.

O Global Navigation Satellite System (GLONASS) é o sistema de satélites russo, similar ao NAVSTAR-GPS. Espera-se para 1990, 10 a 12 satélites e para 1995, 24 satélites (incluindo três de reserva) |06|.

No início da década de 60, entrou em operação o primeiro sistema SLR (Satellite Laser Ranging). Wells |54|, indica a existência de 25 sistemas SLR, fixados por todo o mundo. O princípio básico do SLR consiste de um curto pulso de intensa luz laser direcionada, via um telescópio, para um satélite conduzindo um retrorefletor de canto, o qual redireciona a luz para o sistema SLR onde os fótons em retorno são coletados e detectados por um tubo fotomúltiplo sensível. Pela medida do tempo transcorrido entre transmissão e recepção do pulso laser, determina-se a distância ao satélite. As posições das estações e os elementos orbitais são determinados simultaneamente. Os comprimentos tem sido determinados com precisão de 3 a 5 centímetros |12| e |54|.

A técnica VLBI (Very Long Baseline Interferometry) é a mais exata dentre as técnicas de posicionamento extraterrestre. Inicialmente desenvolvida por astrônomos como uma ferramenta para melhorar a resolução de rádio telescópios. No entanto, após os primeiros testes em 1967, por astrônomos canadenses e americanos, ela se firmou como um instrumento geodésico ideal. O VLBI usa o princípio de interferência de ondas |12|, |25| e |54|.

O GEOSTAR é um dos vários sistemas de posicionamento baseado em satélites, que tem sido proposto para interesse comercial. Proposto em 1983, consiste em dois satélites geosíncronos para retransmitir sinais entre uma central computacional e terminais usuários. A exatidão é melhorada por combinar dados à partir de uma estação fixa num raio de 200 km de um terminal usuário. Testes em 1983/84 mostraram 1 metro de precisão em posicionamento. Em 1986 foi lançado o 1º satélite, o qual falhou no mesmo ano. Dois satélites cobririam o território americano e mais quatro satélites seriam o suficiente para cobrir o resto do planeta |54|.

O NAVSAT é outro sistema de posicionamento com multiobjetivos proposto pela European Space Agency (ESA) 1985. A princípio, seria similar ao GPS, mas deveria ser um sistema civil e renunciar certas feições exigidas em sistemas militares. Isso permitiria operar com satélites e receptores mais simples |ibid|.

1.4.2. Exatidão x Distância

Com o intuito de fornecer uma visão global da exatidão em função da distância, oferecida pelas técnicas de posicionamento extraterrestre, apresentar-se-à o diagrama Exatidão x Distância, da WM Satellite Survey Company, na página seguinte.

Através de uma rápida análise do diagrama da figura 1-1, verifica-se que a técnica GPS se enquadra perfeitamente para os trabalhos geodésicos, apresentando um nível de exatidão compatível com as técnicas VLBI e EDM (medidor eletrônico de distâncias), para distâncias longas e curtas, respectivamente.

Na sequência, apresentar-se-à o sistema NAVSTAR-GPS de forma mais detalhada que os demais, por se tratar da técnica de posicionamento extraterrestre empregada no presente trabalho.

TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO EXATIDÃO X DISTÂNCIA

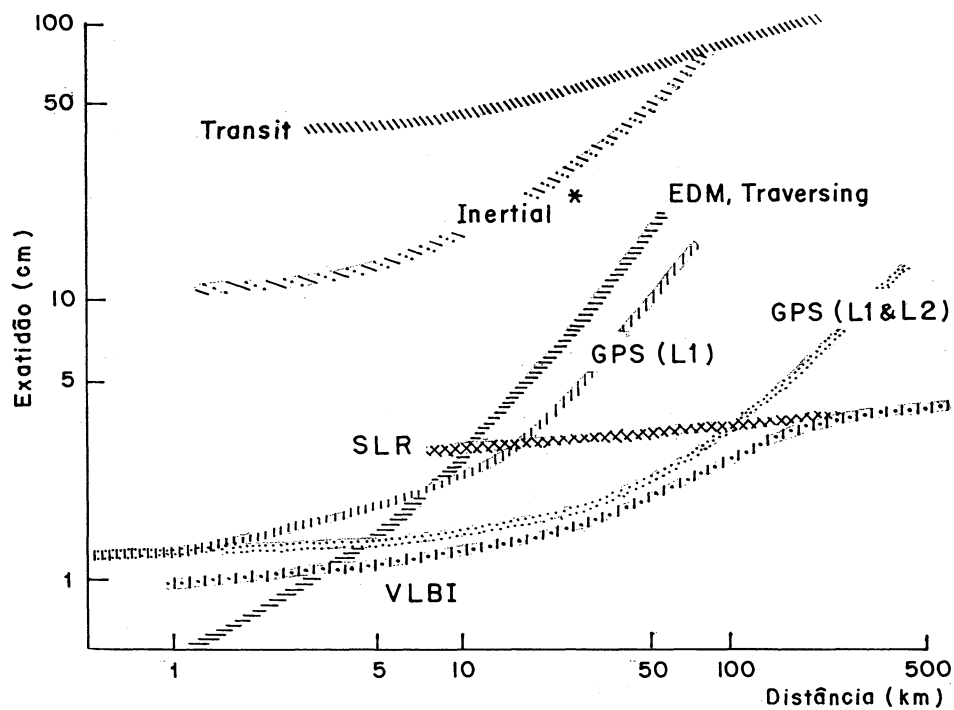


Fig. 1-1 Diagrama da exatidão x distância referente as técnicas de posicionamento (extraída de [54]).

* Sobre a técnica de posicionamento inercial, recomenda-se Freitas [20].

1.5. NAVSTAR - GPS

1.5.1. A origem do sistema

Devido a aceitação do NNSS e da crescente tendência de proliferação de sistemas de satélites procurando atender às variadas necessidades dos usuários civis e militares, foi criado o DNSS - Defense Navigation Satellite System, pelos americanos, objetivando minimizar a proliferação citada e verificar a viabilidade de sistemas de satélites para comunicação, transferência precisa de tempo e controle de tráfego aéreo.

Em atendimento ao programa do DNSS, foram apresentadas duas propostas: uma do U.S.Navy, denominada TIMATION; e outra do U.S.Air Force, denominada 621 B. Da fusão das duas propostas referidas, criou-se o projeto final do sistema, que recebeu o nome de NAVSTAR-GPS: Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System. Isto em 1973.

1.5.2. Características do sistema

O sistema NAVSTAR-GPS consiste de três segmentos:

- o segmento espacial - os satélites
- o segmento de controle - estações terrestres
- o segmento dos usuários - receptores

Na próxima subsecção 1.5.3, mostrar-se-à a evolução do sistema GPS. No entanto, a sua concepção original previa a configuração mostrada no quadro 1.1.

NAVSTAR-GPS

- 24 satélites, sendo 8 em cada um de 3 planos orbitais;
- altitude de 20.000 km;
- órbita quase circular;
- inclinação dos planos orbitais = 63° ;
- período orbital = 12 horas;
- relógios atômicos à bordo dos satélites, com estabilidade de 10^{-13} ;
- portadoras de rádio frequência de 1,2 e 1,6 GHz ;
- potência de 450 watts.

SUPORTE TERRESTRE

- Uma estação "MASTER" nos Estados Unidos da América;
- Estações monitoras em toda a Terra;
- Desenvolvimento de um modelo para correção da refração ionosférica para o uso de um só canal.

Esta configuração permitiria uma média de 8 a 9 satélites visíveis a todo tempo e em qualquer lugar da terra.

Quadro 1-1 Configuração Original do Projeto NAVSTAR-GPS
extraído de Andrade |01|.

No segmento espaço, cada satélite transmite duas frequências de rádio para objetivos de posicionamento: L₁ e L₂. As frequências das portadoras são moduladas por dois códigos de "pseudo-random noise (PRN)" e uma mensagem de navegação. As frequências são controladas pelos relógios atômicos a bordo dos satélites.

O segmento de controle consiste de estações monitoras localizadas em Diego Garcia, Ascension Island, Kwajalein e Hawái; e de uma estação de controle (MASTER) em Consolidated Space Operations Center (CSOC), em Colorado Springs. O objetivo do segmento é monitorar a "saúde" dos satélites, determinar suas órbitas e o comportamento de seus relógios atômicos e ainda, injetar as mensagens transmitidas nos satélites.

O segmento usuário consiste de todos os usuários militares e civis. Receptores apropriados rastreiam os códigos ou a fase das portadoras (ou ambas) e na maioria dos casos também extraem as mensagens transmitidas [54].

1.5.3. A evolução do sistema

A configuração original do sistema NAVSTAR-GPS mostrada no quadro 1.1, passou por alterações, procurando se adaptar aos objetivos iniciais do projeto e às novas circunstâncias surgidas com o amadurecimento do mesmo.

Wells [54], Seeber [48] e Andrade [01] indicam como configuração final o mostrado no quadro 1.2.

NAVSTAR-GPS

- 18 satélites, sendo 3 em cada um dos 6 planos orbitais.
- altitude nominal de 20.183 km;
- órbita quase circular;
- inclinação dos planos orbitais: 55° ;
- período orbital: 12 horas siderais (metade do período de rotação da Terra);
- relógios atômicos com estabilidade de 10^{-13} ;
- portadoras de rádio frequência: $L_1 = 1575,42$ MHz e $L_2 = 1227,6$ MHz ;
- potência : 450 watts;
- 3 satélites de reserva (em órbita).

Quadro 1.2. Configuração do NAVSTAR-GPS em 1988.

No entanto, a constelação dos satélites sofreu novas modificações. Jones, do Joint Program Office (JPO), órgão responsável pelo desenvolvimento, testes e desdobramento das finalidades plenas do NAVSTAR-GPS - apresenta um esquema do programa, abrangendo os três segmentos. Nele é indicado uma constelação final de 24 satélites, sendo 21 operacionais e 3 de reserva |32|.

Na realidade, no segmento espacial, foram previstos três blocos de satélites: Bloco I, Bloco II e Bloco II R,

tendo, respectivamente, satélites enumerados de 1 à 11, 12 à 40 e 20 satélites para manutenção da constelação prevista, a serem usados quando necessários.

A produção dos satélites do Bloco II, foi projetada para ser lançada na razão de : 4 em 1989, 5 no ano de 1990, 1991, 1992 e 1993, completando a configuração final de 24 satélites. O primeiro destes foi lançado em 14/02/89. A construção desta constelação é adicionada a já existente do Bloco I, lançada no período de 1978 à 1985, sendo que em 1989 havia seis satélites do Bloco I ainda em operação |32|.

O esperado pela comunidade geodésica é que o sistema NAVSTAR-GPS possibilite um aumento da capacidade mundial de se obter 2 dimensões, em 1991, e 3 dimensões em 1993.

Por outro lado, os usuários civis devem estar cientes de que enquanto a constelação GPS não estiver plenamente operacional, o uso do sistema para posicionamento, navegação, transferência de tempo ou qualquer outro objetivo, será de seu próprio risco.

1.5.4. Estado atual do sistema

O quadro 1.3, mostra o estado do sistema no segundo semestre de 1990.

Em julho de 1990, em Curitiba, 13 satélites (dos Blocos I e II), estavam disponíveis para uso.

Em novembro de 1990, se observou "janela" com quatro ou mais satélites, por aproximadamente 12 horas/dia. Isto,

já tem permitido aplicações do sistema em levantamentos topográficos, através de métodos apropriados que se encontram descritos na presente dissertação.

NAVSTAR-GPS

- 24 satélites, tendo 4 em cada um de 6 planos orbitais, sendo 21 operacionais e 3 de reserva.
- altitude nominal de 20,183 km;
- órbita quase circular;
- inclinação dos planos orbitais em relação ao equador: $54^{\circ} 44'$;
- período orbital: 12 horas siderais;
- relógios atômicos com estabilidade de 10^{-13} ;
- portadoras de rádio frequência: $L_1 = 1575,42$ MHz ; $L_2 = 1227,6$ MHz, cujos comprimentos de onda : $\lambda_1 = 19,05$ cm e $\lambda_2 = 24,45$ cm;
- potência : 450 watts.

Quadro 1.3. Configuração do Projeto NAVSTAR-GPS, em 1990.

No apêndice II pode-se verificar os satélites disponíveis em 29/11/1990 através da listagem e do gráfico polar fornecidos pelo programa ALERT do GPPS da Ashtech.

2. MÉTODOS RÁPIDOS DE POSICIONAMENTO GPS

2.1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos geodésicos locais exigem técnicas de posicionamento relativo com uma certa rapidez sem perder de vista a questão da precisão.

A disponibilidade do sistema NAVSTAR-GPS tem possibilitado aos profissionais da Geodésia, Topografia, Agrimensura, Cartografia e áreas afins, o uso dos sinais emitidos pelos satélites GPS para obterem posições de pontos, seja, no modo absoluto ou relativo (conforme secção 1.3).

O posicionamento estático, usando a fase da portadora, foi obtido a partir de idéias cujas origens estão no VLBI. Tais princípios foram aplicados para o GPS no início da década de 80. O método estático foi demonstrado em 1982, e, consiste em se colocar um receptor GPS em cada extremo de uma linha base. As medidas de fase da portadora são registradas em ambos os locais (pontos extremos) e os dados, após enviados para o escritório, são processados. A coleta de dados foi feita por um período de 2 a 3 horas. Após os cálculos no escritório o vetor tridimensional da

linha base é estimado a partir das observações. As técnicas de processamento podem ser encontradas em |09|, |23| e |41|.

O método pseudo-cinemático, assim denominado por Remondi em 1987, surgiu como resposta à questão:

"Pode qualquer coisa ser feita enquanto se espera a mudança na geometria dos satélites"? Tal questão foi levantada quando ele pesquisava melhor técnica de processamento para o levantamento estático GPS e atinou para o fato de que a mudança na geometria era necessária para se eliminar falsas soluções. Na verdade a pergunta era: "pode-se visitar outro marco próximo enquanto se aguarda a mudança na geometria dos satélites"? O método é de medida relativa e nos permite determinar os elementos de uma linha base em aproximadamente 5 minutos.

Em 1983, o mesmo pesquisador considerou a possibilidade de determinar a trajetória desejada usando as fases da portadora desde que as mesmas fossem mantidas(i.e., sem perda de ciclos). Em 1984, ele desenvolveu um algoritmo e escreveu um simulador que verificava o conceito. Durante os testes outro problema surgiu: "deveria a antena se mover a partir de um ponto conhecido (coordenadas conhecidas) a priori ou poderia ser determinado através do modo estático GPS ? Há uma via que permita começar o levantamento cinemático em um ponto desconhecido?". Como solução ao problema apontado, ele desenvolveu a técnica "antenna exchange" (Intercâmbio de

antenas) por ser a mais promissora.

A esta altura, nota-se que o uso do GPS nos levantamentos geodésicos locais requer um maior detalhamento dos métodos citados nos parágrafos anteriores.

No intuito de facilitar o entendimento do processo para se obter a posição da antena (receptor), a fase da portadora será apresentada e modelada antes dos referidos métodos de posicionamento, por se tratar da "observável" utilizada pelos mesmos.

2.2. FASE DA PORTADORA GPS

Nesta secção as equações básicas que descrevem as medidas das fases da portadora serão brevemente desenvolvidas. Tais equações após serem adaptadas, possibilitarão a obtenção dos modelos matemáticos adequados aos métodos rápidos de posicionamento.

2.2.1. Apresentação

Os satélites NAVSTAR-GPS transmitem informações de navegação e identificação centradas sobre duas frequências da banda L : L_1 (1575,42 MHz e $\lambda_1 = 19,05$ cm) e L_2 (1227,6 MHz e $\lambda_2 = 24,45$ cm). O sinal da portadora L_1 é modulado em fase por dois códigos, o de precisão (P) conhecido como o "precise positioning service code (PPS)" e o de fácil aquisição (C/A) conhecido como "standard positioning service code (SPS)" [43]. Por outro lado, o sinal da portadora L_2 é modulado somente com o código (P) ou PPS.

Estes códigos são gerados por algoritmos que "aleatoriamente" fazem seus valores mudar de +1 para -1 ou vice-versa, sendo assim, chamados de ruídos falsamente aleatórios [01] - "pseudo-random noise (PRN)" [43]. O código PPS é gerado eletronicamente a uma razão de 10,23 MHz, tendo um período de duração de 37 semanas. Já o código SPS é gerado a uma razão de 1,023 MHz e tem um período de 1

milissegundo (ms), segundo Spilker^{*1}, citado por |01|.

Os satélites geram o mesmo código PPS. No entanto, cada um transmite trechos diferentes do código, correspondentes a uma semana-GPS (o tempo GPS é contado à partir da 0 hora do dia 06 de Janeiro de 1980, meia noite de sábado p/domingo). O código PPS é complexo e de difícil aquisição.

A sintonia de um satélite, se faz pela demodulação do código SPS (ou C/A). Para tal, o receptor terá que gerar o mesmo código C/A do satélite que sintonizar.

A figura 2.1 (a, b, c, d) mostra a portadora, o código PRN e a fase modulada da portadora em função do tempo.

* SPILKER, J. J. (1978). "GPS Signal Structure and Performance Characteristics". Navigation, 25, p.121-146.
Citado por |01| e |41|.

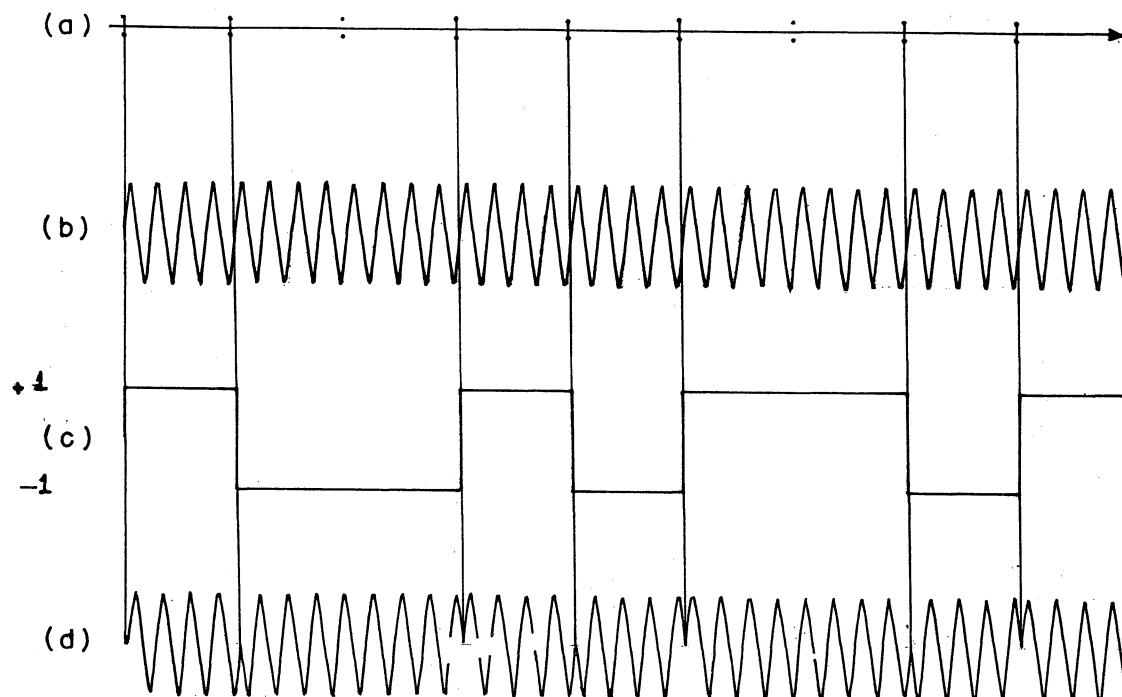


Fig. 2.1. Estrutura do sinal GPS (baseada em [05] e [48]).

- a) Tempo
- b) Portadora GPS recebida
- c) Código PRN (para modulação)
- d) Portadora modulada em fase pelo código

Nas subsecções posteriores verificar-se-á que a distância estação-satélite, é a grandeza fundamental para o posicionamento GPS. Ela pode ser obtida através de um dos códigos P (PPS) ou C/A (SPS). Devido à frequência mais alta, o código P fornece maior precisão na determinação da

distância e , em consequência, nas coordenadas do receptor (inferior a 1 metro). O código C/A, utilizado para a navegação de caráter geral, permite obter as coordenadas da estação receptora com um erro médio de 15 - 30 metros [05].

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos restringe o uso do código P, deixando disponível para o uso civil, somente o código C/A.

No entanto, novas alternativas para o posicionamento GPS de precisão estão sendo buscadas. O uso da fase da portadora em lugar do código tem conquistado posição de destaque para o posicionamento de pontos.

Remondi [43] descreve a fase da portadora em :

f_s frequência nominal de uma portadora;

$F(t)$ fase fracional desta portadora, significando o ponto na oscilação cíclica no tempo (t) ;

$\phi(t)$ como função monotônica, baseada no número de ciclos que tem sido recebido desde um tempo inicial (t_0) ;

Nesta idealização, a fase é mostrada como uma função linear do tempo. No entanto, ela não deveria ser verdadeiramente linear devido ao efeito Doppler (e aos efeitos secundários, tais como, deriva dos osciladores, refração, relatividade, dentre outros).

Um satélite GPS transmite o sinal da banda L muito próximo da frequência nominal (f_s) , e o oscilador do receptor GPS registra o sinal recebido também próximo da

frequência nominal. Sabe-se que o sinal é transmitido e recebido continuamente mas a recepção se dá após a transmissão, mesmo que por uma diferença de tempo muito pequena.

Imaginando somente um ciclo sendo transmitido e recebido posteriormente, tal onda pode ser vista como atravessando um meio comparável a uma onda oceânica atravessando o mar. Acompanhando esta linha de raciocínio, pode-se denotar a fase da portadora do j -ésimo satélite GPS ao tempo de transmissão t_T como $\phi_s^j(t_T)$. Um receptor GPS receberá esta fase num tempo t_R , de acordo com sua própria contagem de tempo. Na realidade o receptor será lesado e o verdadeiro tempo de recepção será $t_R + \delta t_R$ (onde δt_R representa o atraso do relógio do receptor em relação ao tempo de transmissão do sinal pelo relógio do satélite). Isto é uma realização crucial e na verdade se aplica a todos os eventos de recepção da fase da portadora.

2.2.2. O processo de medida

A contagem dos picos ou zeros das portadoras como eles são recebidos só tem sentido se for feita sobre um intervalo de tempo fixado. Isto implica que o receptor deve ter um oscilador estável. Uma vez que é indispensável o relógio do receptor, porque não medir a fase do sinal que está para chegar com respeito à fase do sinal da portadora GPS nominal, gerado pelo oscilador do receptor? Assim, faz sentido medir $\phi_s^j - \phi_R$.

Remondi, [43] cita algumas aproximações possíveis, mas, entra em detalhes naquela em que se mede a fase da portadora relativa à fase do oscilador do receptor, como apresentado na sequência desta subsecção.

Considerando a representação simplificada de um receptor GPS, (não se trata de um receptor real), conforme a figura 2.2.. Supondo que o mesmo possa rastrear cinco satélites simultaneamente. Assumindo que não há erros tendenciosos ("biases") entre canais ou que um canal é usado para todos os satélites no modo multiplex ("multiplexing").

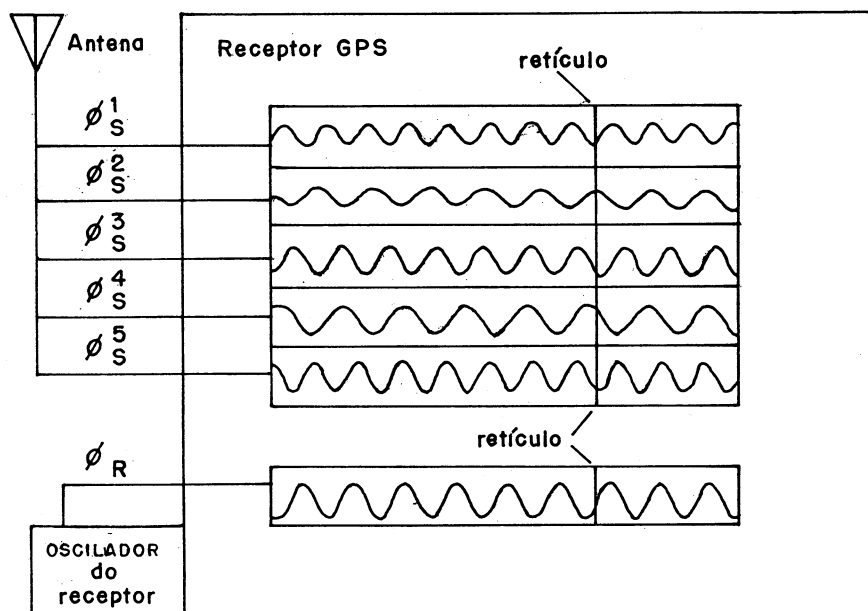


Fig. 2-2 Representação conceitual de um receptor GPS de 5 canais (extraída de [43]).

Pode-se visualizar as portadoras destes satélites GPS

passando pelo receptor nos cinco painéis mais elevados enquanto a portadora do próprio receptor (que está passando pelo painel inferior) desempenham duas funções:

- i - o tempo do receptor se baseará no número de ciclos que passar o retículo ("cross hair");
- ii - quando o número de ciclos que passar o retículo corresponder ao tempo medido pré-programado, digamos t_i , as cinco diferenças $\phi_s^j - \phi_R$, $j = 1 \dots 5$, serão medidas (e.g., dentro de $\pm 0,01$ ciclos) e registradas.

Considerando, desde o início, que embora o receptor acredite no tempo t_i , em termos de tempo de efemérides GPS, o tempo medido real é $t_i + \delta t_i$, onde δt_i é desconhecido (mas muito real). Designando o tempo de transmissão associado com $t_i + \delta t_i$ por $t_{T_i}^j$. (Uma vez que todas as fases dos satélites são medidos ao mesmo tempo, os tempos de transmissão devem ser dependentes do satélite). Assim, sugere-se a tomada simultânea das medidas de fase relativa, apesar de não ser essencial.

Se $m^j(i)$ é a medida da fase de batimento da portadora |43|, tendo o tempo rotulado como t_i , o modelo para a mesma pode ser assumido como:

$$m^j(i) = \phi_s^j \left[t_T^j(i) \right] - \phi_R(t_i + \delta t_i) + \varepsilon^j(i) \quad (2.1)$$

onde:

$\varepsilon^j(i)$ representa ruídos na medida. Os elementos m^j , ϕ_s^j e ϕ_R são quantidades contínuas. O tempo teórico representado por $t_i + \delta t_i$ está em perfeito alinhamento de fase (a todo instante) com o tempo teórico representado por $t_T^j(i)$. A medida de fase $m^j(i)$ tem sido feita continuamente desde a primeira medida $m^j(1)$. Esta por sua vez foi feita baseada num alinhamento de fase do tempo real com o sinal da portadora que está para chegar mas, com nenhum conhecimento de qual ciclo deveria representar a perfeita sincronização de fase. Assim, a equação 2.1. pode ser melhorada por reconhecer (ou aceitar) esta ambiguidade inteira de ciclos:

$$m^j(i) = \phi_s^j \left[t_T^j(i) \right] - \phi_R(t_i + \delta t_i) + N^j(i) + \varepsilon^j(i) \quad (2-2)$$

À medida que o rastreamento da portadora é mantido, somente uma incógnita N^j (por receptor, por satélite, por todo tempo) aparece no modelo. Isto será de grande valia para os posicionamentos GPS em que se busca maior rapidez.

2.2.3. Modelo matemático

O modelo expresso na equação 2-2 parece um tanto complexo quando vários receptores estão envolvidos. Para o M -ésimo receptor e j -ésimo satélite, a i -ésima medida de fase pode ser descrita como:

$$m_M^j(i) = \phi_S^j \left[t_{T_M}^j(i) \right] - \phi_R^M (t_i + \delta_{M_i} t_i) + N_M^j + \varepsilon_M^j(i) \quad (2-3)$$

Esta mostra que desde que $t_i + \delta_{M_i} t_i$ é assumido idêntico para todo j medido pelo receptor M , o verdadeiro tempo de transmissão:

$$t_{T_M}^j(i) = t_i + \delta_{M_i} t_i - \tau_M^j(t_i + \delta_{M_i} t_i) \quad (2-4)$$

é dependente do satélite. $\tau_M(t_R)$ é o tempo de trânsito (no vácuo) da portadora do satélite j ao evento de recepção (no receptor) $t_R = t_i + \delta_{M_i} t_i$ (tempo verdadeiro). Se a distância geométrica instantânea é dada por $\rho(t)$ onde:

$$\rho^2(t) = \left[x_R - x_S(t) \right]^2 + \left[y_R - y_S(t) \right]^2 + \left[z_R - z_S(t) \right]^2 \quad (2-5)$$

sendo: $(x, y, z)_R$ = coordenadas tridimensionais do receptor e
 $(x, y, z)_S$ = coordenadas tridimensionais do satélite;

então:

$$\tau(t_R) = \frac{1}{c} \rho \left[t_R - \frac{1}{c} \rho \left(t_R - \frac{1}{c} \rho (\dots) \right) \right] \quad (2-6)$$

Substituindo a equação (2-4) na equação (2-3) e expandindo acerca de $t = t_i$, tem-se:

$$m_M^j(i) = \phi_S^j(t_i) + \phi_S^j(t_i) \cdot \left[\delta_{M i} t_i - \tau_M^j(i) \right] - \phi_R^M(t_i + \delta_{M i} t_i) + N_M^j + \epsilon_M^j(i) \quad (2-7)$$

onde:

$\phi_S^j = f_S^j$, é a frequência da portadora, e $\tau_M^j(i)$ simboliza $\tau_M^j(t_i + \delta_{M i} t_i)$

2.2.4. Modelo das diferenças de fase

Quando duas medidas de fase tomadas simultaneamente por dois receptores (1 e 2) são subtraídas, a resultante observável é uma observação de fase denominada de "pura fase" do satélite j definido por $SC(j,i) = m_2^j(i) - m_1^j(i)$.

A observação da "primeira diferença de fase" ou "simples diferença" do satélite j é definido por $SDC(j,i) = SC(j,i+1) - SC(j,i)$.

A dupla diferença de fase sobre os satélites j e k , é definido como $DDC(j,k,i) = SC(k,i) - SC(j,i)$.

A tripla diferença de fase pode ser definida por: $TC(j,k,i) = SDC(k,i) - SDC(j,i)$ ou por $TC(j,k,i) = DDC(j,k,i+1) - DDC(j,k,i)$. Em outro caso:

$$TC(j,k,i) = SC(k,i+1) - SC(k,i) - SC(j,i+1) + SC(j,i) \quad (2-8)$$

Substituindo o modelo de observação para os componentes da pura fase desta equação e negligenciando os termos $(f_s^k - f_s^j) \cdot (\delta_2 t - \delta_1 t)$, alcança-se o seguinte modelo da tripla diferença:

$$\begin{aligned}
T(j,k,i) = & f_s^k(i+1) \cdot \left[\tau_1^k(i+1) - \tau_2^k(i+1) \right] - f_s^k(i) \cdot \\
& \cdot \left[\tau_1^k(i) - \tau_2^k(i) \right] - f_s^j(i+1) \cdot \left[\tau_1^j(i+1) - \right. \\
& \left. - \tau_2^j(i+1) \right] + f_s^j(i) \cdot \left[\tau_1^j(i) - \tau_2^j(i) \right] + \\
& + \varepsilon_T(j,k,i) \tag{2-9}
\end{aligned}$$

onde:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_T(j,k,i) = & \left[\varepsilon_2^k(i+1) - \varepsilon_1^k(i+1) \right] - \left[\varepsilon_2^k(i) - \varepsilon_1^k(i) \right] - \\
& - \left[\varepsilon_2^j(i+1) - \varepsilon_1^j(i+1) \right] + \left[\varepsilon_2^j(i) - \varepsilon_1^j(i) \right] \tag{2-10}
\end{aligned}$$

Os termos $(f_s^k - f_s^j) \cdot (\delta_2 t - \delta_1 t)$ são negligenciáveis uma vez que $\delta_2 t - \delta_1 t$ são, tipicamente, uns poucos microssegundos e $f_s^k - f_s^j$ é, são poucos hertz. Ao se desprezar estes dois produtos resulta, no entanto, em um erro desprezível. Os termos remanescentes compreendem uma frequência multiplicada por uma diferença entre tempos de trânsito (transição). Para as aplicações nesta consideração (levantamentos locais, digamos, até 20 km), estas diferenças de tempo, são menores que 100 ms. As frequências dos osciladores dos satélites GPS são mantidos com valores

próximos aos nominais, diferindo em poucos hertz. Assim, para a maioria das aplicações, o uso dos valores nominais das frequências resultará em uma contribuição (erro) negligenciável. Valores precisos destas frequências podem ser obtidos ou determinados, caso sejam exigidos.

Sobre a associação que a frequência transmitida (f_s) de uma dada portadora do satélite é constante no período do levantamento, e negligenciado os ruídos nas medidas $[\varepsilon_T(j,k,i)]$, observações da tripla diferença podem ser modelados, segundo [43]:

$$T(j,k,i) = f_s^k \cdot \left[\tau_1^k(i+1) - \tau_2^k(i+1) - \tau_1^k(i) + \tau_2^k(i) \right] - \\ - f_s^j \cdot \left[\tau_1^j(i+1) - \tau_2^j(i+1) - \tau_1^j(i) + \tau_2^j(i) \right] \quad (2-11)$$

Remondi, [41], [42], [43], Andrade [01] e Goad e [24], mostram com maiores detalhes os modelos matemáticos, envolvendo a fase da portadora GPS.

O modelo da tripla diferença, expresso em 2-11, apresenta como incógnitas as coordenadas tridimensionais da estação receptora, necessárias para a obtenção dos termos ρ

e $\tau(t_R)$, como indicado nas equações 2-5 e 2-6, respectivamente. O referido modelo (2-11) será alvo de atenção no posicionamento cinemático, assunto da próxima seção.

2.3. O MÉTODO CINEMÁTICO

No posicionamento estático GPS, receptores são colocados nos extremos de linhas bases (cujos comprimentos variam de metros para centenas de quilômetros) por um período de 1 à 4 horas para medidas simultâneas das fases das portadoras provenientes de vários satélites GPS. No entanto, quando se deseja medir alinhamentos curtos, comuns na Topografia e na Agrimensura, não se justifica o gasto de uma hora ou mais.

O posicionamento cinemático permite levantamentos locais com exatidão ao nível de poucos milímetros, num curto espaço de tempo (segundos ou minutos).

2.3.1. Descrição do método

É um método de posicionamento relativo baseado na fase da portadora. Pode ser contínuo, para aplicações aéreas e marítimas, ou interrompido, para aplicações em levantamentos locais [45].

Exige duas antenas receptoras situadas, inicialmente, nos extremos de uma linha base conhecida (através do posicionamento estático GPS ou da troca de antenas). Uma vez iniciada a medida de fase da portadora, uma das antenas deve ser movida para um ponto (marco) a ser levantado e a outra deve permanecer fixa. O sinal da portadora deve ser mantido durante a transição da antena móvel. Quando esta estiver devidamente instalada sobre o marco, as medidas das fases GPS serão registradas pelo receptor. O tempo de ocupação total pode variar de segundos a minutos, dependendo do meio de transporte utilizado entre os marcos e da exatidão requerida.

O método do posicionamento cinemático exige a sintonia contínua das portadoras de quatro ou mais satélites. Remondi, autor do método, recomenda o uso prático de cinco satélites, e como ideal, seis ou mais. No caso de somente quatro satélites serem rastreados, não haverá redundância, e as medidas devem ser repetidas [42].

Para o levantamento cinemático, 10 à 20 observações são recomendadas e, em alguns casos, uma segunda visita é apropriada.

2.3.2. O modelo matemático

Na secção anterior (2.2-4) o modelo da tripla diferença foi apresentado. No posicionamento cinemático GPS emprega-se o referido modelo.

Considerando o receptor 2 como móvel e o 1 como fixo num ponto conhecido e ainda que a localização do receptor 2 é conhecida no instante t_i , tem-se como objetivo, a determinação da localização do receptor móvel no instante t_{i+1} , desprezando-se as consequências advindas do caminho percorrido pelo mesmo durante o intervalo de transição de t_i para t_{i+1} .

A observação da tripla diferença sobre o intervalo t_i para t_{i+1} , para os satélites j e k é equivalente à diferença entre as primeiras diferenças de fase do satélite k e do satélite j , conforme indicado na subseção 2.2.4.. Isto é salientado porque a primeira diferença de fase (SD) é equivalente a uma mudança na distância satélite-receptor.

Remondi [44] indica o modelo matemático expresso pela equação 2-11, como sendo o modelo que reflete um receptor GPS medindo a fase do satélite menos a fase do receptor e ressalta que o sinal no modelo deveria ser invertido no caso contrário, ou seja, um receptor que meça a fase do receptor menos a fase do satélite.

Por outro lado, o referido autor mostra em detalhes todo o processo de linearização e tratamento matemático indispensáveis à obtenção da posição da estação do receptor móvel em [42], utilizando-se do modelo da tripla diferença (transcrito a seguir para maior ênfase) e do método dos mínimos quadrados.

$$T_{1,2}^{(j,k,i,i+1)} =$$

$$f_s^k \cdot \left[\left(\tau_1^k(i+1) - \tau_2^k(i+1) - (\tau_1^k(i) - \tau_2^k(i)) \right) \right]$$

$$- f_s^j \left[\left(\tau_1^j(i+1) - \tau_2^j(i+1) - (\tau_1^j(i) - \tau_2^j(i)) \right) \right]$$

(2-12)

Embora a formulação apresentada por Remondi [ibid] para se determinar a nova posição do receptor móvel se baseie no modelo da tripla diferença, ela poderia ter sido baseada nos modelos da dupla diferença ou da primeira diferença de fase (simples diferença), indicados na secção anterior. No entanto, no modo da dupla diferença as ambiguidades inteiras -N-, acompanhadas de erros ("biases"), seriam determinadas com base nas medidas tomadas antes do receptor 2 se deslocar. Tais erros seriam aplicados nas posições subsequentes do receptor móvel. Por outro lado, na tripla diferença estes erros não precisam ser determinados e o receptor 2 pode ser deslocado assim que o rastreamento seja estabelecido e as fases das portadoras, comecem a ser registradas. Isto porque as incógnitas na tripla diferença são somente as coordenadas do receptor móvel (do ponto desconhecido).

Na expectativa de focar a questão numa forma mais aplicativa considerar-se-á uma situação em que se conhecem as coordenadas das estações A(receptor 1, fixo) e B(posição

inicial do receptor 2, móvel) |42|. Então, para a linha base AB tem-se a dupla diferença de fase:

$$DD_{12}^{jk}(t_1) = -\rho_{AB}^{jk}(t_1) + N_{12}^{jk} \quad (2-13)$$

sendo: $DD_{12}^{jk}(t_1) = (m_2^k - m_1^k) - (m_2^j - m_1^j)$, dupla diferença de fase dos satélites j e k , para a época t_1 , conforme 2-2-4;

$\rho_{AB}^{jk}(t_1) = (\rho_B^k - \rho_A^k) - (\rho_B^j - \rho_A^j)$, representando a diferença das distâncias geométricas instantâneas entre os satélites j e k e as estações A e B, para o instante t_1 ;

$N_{12}^{jk} = (N_2^k - N_1^k) - (N_2^j - N_1^j)$, representando as desconhecidas ambiguidades inteiras (N) referentes aos satélites j e k e aos receptores 1 e 2. Estes valores são estimados pelo processo dos mínimos quadrados como números reais devendo ser, posteriormente, fixados os valores inteiros exatos.

Verifica-se que o modelo da equação (2-13) permite a obtenção dos valores das ambiguidades inteiras (N_{12}^{jk}). Estes serão mantidos durante o levantamento cinemático.

Após o movimento da antena (receptor) 2 para a estação C desconhecida, assumindo o rastreamento contínuo

nos dois receptores, tem-se a expressão:

$$DD_{12}^{jk}(t_2) = -\rho_{AC}^{jk}(t_2) + N_{12}^{jk} \quad (2-14)$$

No entanto, se a estação B é conhecida, a posição (x_c, y_c, z_c) da estação C pode ser determinada por:

$$DD_{12}^{jk}(t_2) - DD_{12}^{jk}(t_1) = -\rho_{AC}^{jk}(t_2) + \rho_{AB}^{jk}(t_1) \quad (2-15)$$

Confrontando o lado esquerdo do modelo (2-15) com os modelos das diferenças de fase (secção 2.2.4), constata-se a presença do modelo da tripla diferença de fase, conforme anunciado anteriormente.

Na prática o vetor inicial AB pode ter algum erro e resultados melhores podem ser alcançados usando a equação (2-13) para determinar as ambiguidades inteiras (N_{12}^{jk}) que podem ser, subsequentemente, aplicados nas equações (2-13) e (2-14). Isto pode minimizar erros em B e, conseqüentemente, em C.

O professor C.Goad, em [24], aponta como outra vantagem em se transportar os valores inteiros (N_{12}^{jk}) o fato de que um programa de dupla diferença para o processamento

estático GPS pode ser usado para o processamento cinemático GPS.

2.3.3. Implementação do método

A determinação da nova posição do receptor 2 no instante $t_i + 1$, ao nível de poucos milímetros, exige:

- rastreamento contínuo sobre quatro ou mais satélites
- a posição geodésica da estação A ser conhecida e fixada (e.g. ± 10 metros);
- a posição da estação B no instante t_i em relação à estação A ser conhecida (vetor inicial conhecido);
- a deriva linear do relógio, sincronia e sintonia dos relógios, entre receptores 1 e 2 ser conhecida por aproximadamente 1 ms/hora;
- as posições dos satélites serem conhecidas;
- para melhores resultados, o receptor 2 (móvel), deve retornar, periodicamente, à estação B para reinicialização.

Em [07] encontram-se algumas considerações acerca do hardware relativo aos receptores e salienta a necessidade de se ter instrumentos compatíveis com a exigência de se rastrear continuamente quatro ou mais satélites durante o deslocamento do receptor móvel. Quanto mais estreita for a largura da medida do espectro de um sinal ("bandwidth") mais exatas serão as medidas de fase das portadoras, entretanto,

menor será a capacidade de se manter o rastreamento. Assim, os receptores que não são capazes de manter a recepção de sinais durante o movimento da antena móvel não podem ser usados no posicionamento cinemático.

As posições geodésicas da estação A e da estação B podem ser conhecidas a priori, pelo posicionamento estático GPS ou outro método terrestre, ou ainda, determinadas pela técnica do intercâmbio de antenas (ver secção 2-4).

Quanto aos relógios dos receptores 1 e 2, embora opcionalmente, deveriam ter seus osciladores sincronizados e sintonizados. Poder-se-ia explorar o conhecido vetor inicial para se fazer transferência de intervalo de tempo ao nível do nanosegundo. O receptor móvel poderia permanecer no marco de inicialização o suficiente para sincronização e sintonia ou poderia proceder com o levantamento e retornar ao referido marco para outra transferência de tempo. Se receptores de código são usados, o tempo GPS é obtido para melhor que $1 \mu\text{s}$ a todo instante. Isto simplificaria a adaptação.

As posições dos satélites são elementos provenientes das efemérides registradas pelo receptor.

Outra exigência interessante de se frisar é em relação ao deslocamento do receptor móvel. A antena necessita ser montada verticalmente sobre o marco a ser levantado, rápida e exatamente. Para evitar bloqueio do sinal durante as operações, ela deve ser instalada a uma altura entre 2-3 metros e num tripé que permita um fácil e

preciso nivelamento.

2.3.4. Experiências

Remondi a princípio, fez um programa para simular informações de fase para uma antena móvel. A antena 1 foi situada permanentemente no marco A e a antena 2 foi inicialmente situada no marco B. As coordenadas de A e B eram conhecidas. Após o rastreamento ter iniciado em ambos os receptores, a antena 2 se deslocou de B no instante t_1 e atingiu o marco C no instante t_2 . Negligenciando o percurso usado, as medidas de fase simuladas resultantes foram as mesmas. Estes dados foram usados para criar cinco observações de tripla diferença $T(j,k,i)$, sendo $j = 1$ e $k = 2,3,4,5$. Estas observações foram introduzidas num programa dos mínimos quadrados e o resultado obtido foi a exata recuperação do marco C |42|.

A primeira experiência com levantamento cinemático GPS ocorreu em Arkansas no mês de julho de 1985 conduzido pelo National Geodetic Survey. Foram empregados dois receptores da Texas Instrument (TI - 4100) para estabelecer o levantamento de cinco marcos espaçados de aproximadamente 100 pés (30,48 metros), conforme figura 2-3, extraída de |44|.

O receptor GPS estacionário ocupou o marco A durante toda a experiência. O receptor móvel inicialmente ocupou o marco B e posteriormente ocupou os demais marcos na

sequência B-C-D-E-B-C-D-E-B. O rastreamento foi mantido sobre quatro satélites GPS durante o teste. Esta experiência foi repetida usando uma reduzida largura do espectro de um sinal ("bandwidth").

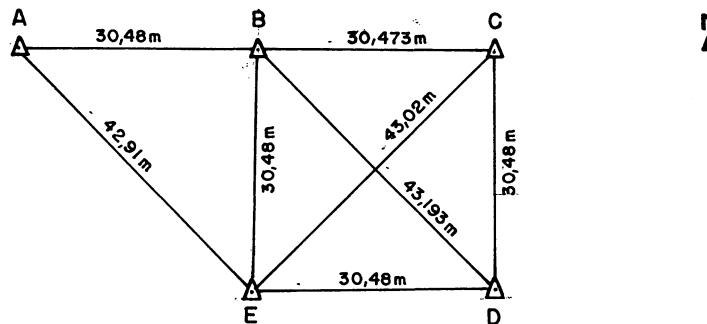


Fig. 2-3. Configuração dos marcos no teste de Arkansas (1985) . (Extraído de Remondi [44]).

Os objetivos do experimento de Arkansas não incluíam a exatidão do método, no entanto os testes atingiram pleno sucesso pois possibilitaram:

- estabelecer 16 Hz como a medida apropriada da largura do espectro para o instrumento geodésico utilizado (receptor TI-4100);
- ressaltar a necessidade do receptor ser capaz de se submeter a largura do espectro ("bandwidth");

- ressaltar a necessidade de incluir, no levantamento, um passo adicional para a determinação das coordenadas geodésicas iniciais do receptor móvel;
- apontar a necessidade de visitar o marco inicial do receptor móvel (ou qualquer marco conhecido precisamente) entre visitas a marcos desconhecidos. Isto é considerado temporariamente, pois, espera-se não ser necessária tal visita quando o modelo estiver completo e a técnica amadurecida;
- permitir que o software de processamento de dados fosse verificado e sugerir melhoramentos.

A segunda experiência envolvendo o levantamento cinemático proposta por Remondi, objetivando verificar a exatidão do método, foi conduzida pelo National Bureau of Standards (NBS), nos dias 12 e 13 de agosto de 1985. A figura 2-4 representa a configuração geral dos marcos utilizados.

Os marcos NBS-1, NBS-2, NBS-3 e NBS-4 eram precisamente conhecidos a priori. Os marcos NBS-3a e NBS-3b foram estabelecidos no dia 12 de agosto de 1985 especificamente para este experimento, pelo uso de métodos terrestres. A finalidade destes foi possibilitar o emprego da técnica "antenna swap" (troca de antenas) para se determinar a posição da estação inicial do receptor móvel, bem como o vetor inicial, em segundos, conforme será descrito na secção 2-4.

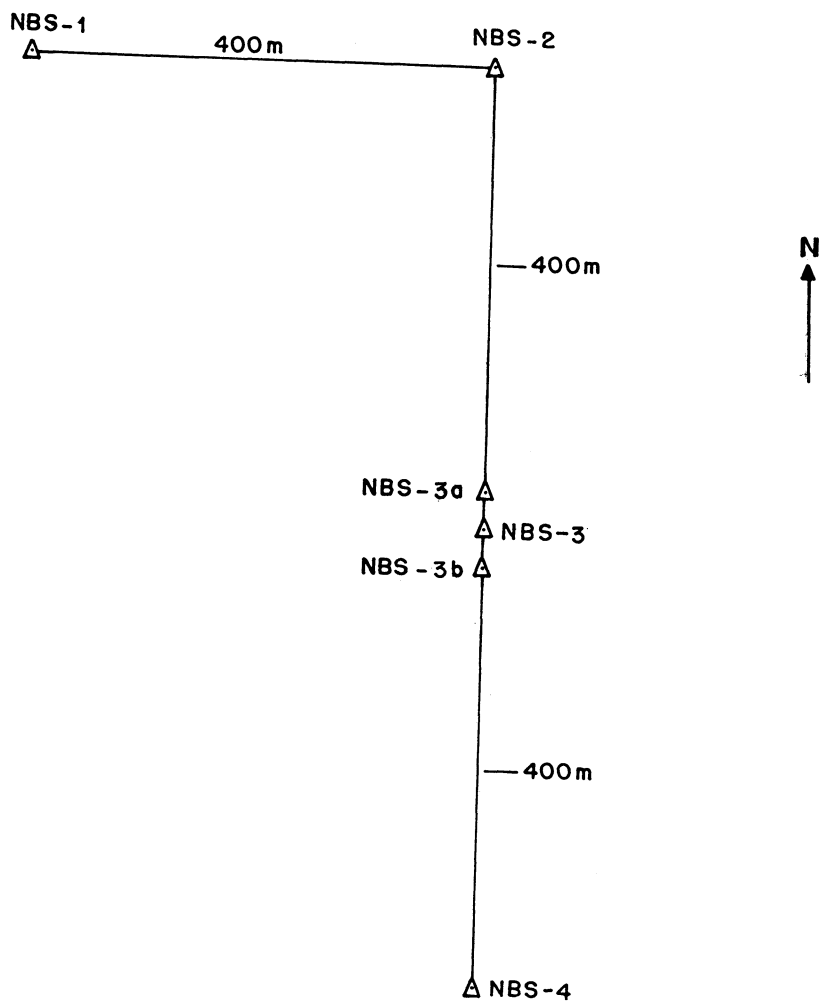


Fig. 2-4. Configuração geral dos marcos no teste do NBS (extraída de [44]).

Em [44] encontra-se um registro dos eventos usados para o levantamento cinemático em questão. Nele se verifica um tempo total de 56 minutos e 50 segundos necessários para se obter os dados referentes ao experimento.

Em relação aos resultados obtidos, mesmo não considerando alguns detalhes operacionais, como a orientação das antenas numa mesma direção, atingiram plenamente os objetivos propostos para a experiência, ou seja, demonstrar a exatidão do método de levantamento cinemático GPS. Naturalmente que, melhorando o modelo matemático e o correspondente software de processamento dos dados, melhores resultados serão alcançados. No entanto, considerando o marco NBS-3 como a estação fixa e os demais marcos como desconhecidos, o teste forneceu como discrepâncias máximas entre as coordenadas calculadas pelo levantamento cinemático e as coordenadas "verdadeiras"(conhecidas a priori) os valores:

- em latitude = 1,9 cm;
- em longitude = 1,6 cm;
- em altitude = 4,7 cm;

e como erro médio, os valores:

- em latitude = 0,6 cm;
- em longitude = 1,0 cm;
- em altitude = 2,6 cm.

Tais valores demonstraram a exatidão ao nível do centímetro do método de levantamento cinemático GPS,

conforme proposto por seu autor.

A partir destas experiências iniciais desenvolvidas por Remondi, a comunidade geodésica, através de outros pesquisadores, vem realizando várias outras.

Ashkenazi et alii, em abril de 1987, executaram três séries de testes com o método cinemático GPS em Nottingham, usando os receptores TI-4100 e TRIMBLE 4000, sobre a linha base de calibração de medidas eletromagnéticas de distância em Bunny Park Farm, em sete pilares, num percurso total de 197,031 metros. Os testes preliminares reportados em [07], confirmam a validade e a alta exatidão que podem ser atingidos pelo método de levantamento cinemático GPS proposto por Remondi. Na execução dos testes conseguiram, durante uma secção, uma deriva linear máxima, após cerca de 18 minutos acumulados, os valores: 15mm em X, 7mm em Y e 5mm em Z.

Em todas as experiências, anteriormente citadas, observou-se que a deriva linear aumenta em função do tempo de inicialização. Assim, procuraram visitar o marco inicial da antena móvel, conforme salientado em subsecções antecedentes a esta.

Hein, G. W et alii em [28], apresentam testes executados com posicionamento cinemático, em terra, mar e ar. Relatam a possibilidade de se atingir exatidão ao nível de 1-2 cm nas posições relativas (para distâncias de até 10 km), quando se usa as fases das portadoras e pseudo-distância em duas frequências.

Nard, G Pierre, em |38|, apresenta uma nova visão do método cinemático aplicado para grandes distâncias, usando receptores da SERCEL (França). Procura descrever sobre o equipamento, os métodos de posicionamento GPS e especificamente sobre o método cinemático, além de apresentar alguns resultados obtidos.

Seeber, Gunter e Wubben, G, em |49|, descrevem um método capaz de determinar as ambiguidades, usando frequência dupla no modo cinemático. Enfocam o uso do posicionamento cinemático GPS em plataformas móveis.

O antagonista principal do posicionamento cinemático é a perda de ciclos ("cycle slip"). Isto, durante as observações de campo e, conseqüentemente, no pós-processamento. Constantemente têm sido realizadas experiências visando a solução dos problemas causados pelo mesmo. Em |56| são apresentados os resultados obtidos em testes realizados na Universidade de Calgary, Canadá. Procurou-se fazer a integração do GPS e o Sistema de Navegação Inercial (GPS-INS). Este método pode ser usado para prever as coordenadas e a velocidade de navegação (para veículos terrestres), durante períodos de perdas de ciclos ("cycles slip"), aproximadamente no mesmo nível de exatidão fornecido antes de ocorrer a perda da contagem dos ciclos. Em |29|, também é apresentado e discutida a integração do GPS com um sistema inercial ("ring laser gyro strapdown inertial system") visando minimizar os problemas causados pela perda de ciclos, durante o levantamento

cinemático GPS.

2.4. O MÉTODO DO INTERCAMBIO DE ANTENAS

Na apresentação e descrição do método de posicionamento GPS cinemático, verifica-se dentre as exigências requeridas, aquela em que se deve conhecer precisamente o vetor inicial entre o marco de referência e a posição inicial da antena móvel.

Nos casos em que se conhece, a priori, as coordenadas geodésicas precisas dos extremos do vetor inicial, o mesmo estará disponível. Mas, frequentemente, isto não ocorre.

O intercâmbio de antenas é uma técnica para se estabelecer, em segundos de tempo, tal vetor inicial naquelas circunstâncias onde se conhece as coordenadas geodésicas precisas somente de um dos extremos ou, até mesmo, de nenhum deles. Nas duas situações pode-se, ainda, calcular os valores das ambiguidades inteiras (N), uma vez que as coordenadas do marco de referência e da posição inicial do receptor (antena) móvel são conhecidas. Tais valores inteiros podem fornecer um vetor inicial melhorado e permitir que um subsequente levantamento GPS cinemático seja processado diretamente no modo da dupla diferença (ver equação 2.13).

Diante das possibilidades oferecidas pelo método da troca de antenas ("antenna swap") ou intercâmbio de antenas ("antenna exchange"), na presente secção, dar-se-á especial

atenção ao mesmo.

2.4.1. Descrição do método

A situação mais frequente num levantamento cinemático GPS, é aquela em que se deseja determinar a posição de vários pontos desconhecidos em relação à um marco de referência. As coordenadas geodésicas precisas deste, devem ser determinadas usando-se o posicionamento estático GPS ou outro método preciso.

Supondo o marco A, de coordenadas conhecidas e o ponto B como a posição inicial do receptor móvel em um levantamento cinemático GPS. Deseja-se determinar a posição do ponto B e, conseqüentemente, o vetor inicial AB, e os valores das ambigüidades inteiras (ND). Estas são as condições iniciais exigidas pelo método cinemático e que o intercâmbio de antenas procurará satisfazer.

Considerando a figura 2-5a, onde se representa a situação inicial na época t_1 , e ainda, os marcos A e B próximos, ocupados com as antenas 1 e 2, respectivamente. A troca de antenas (época t_2 figura 2-5b) deverá ocorrer quando o rastreamento estiver estável, nos dois receptores, sobre pelo menos 4 satélites (5 é o recomendado e 6 ou mais é o ideal). Durante o movimento da antena 1 para o marco B e da antena 2 para o marco A não é permitida a perda de ciclos, ou seja, o rastreamento deverá ser contínuo nos dois

receptores.

A técnica exige somente uma tomada de informações. No entanto, uma dúzia ou mais devem ser coletadas.

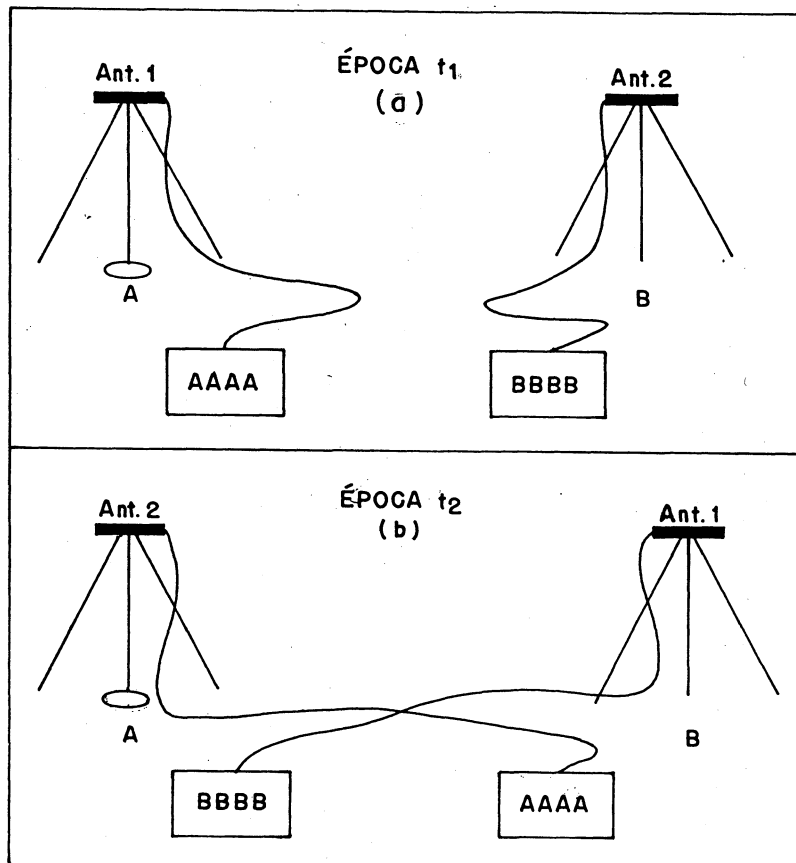


Fig. 2-5. O intercâmbio de antenas (baseada em [09]).

Deve-se proceder outras trocas de antenas para se obter maior veracidade nos resultados finais. Verificar na secção onde se descreve testes e experiências iniciais com o método (2.4.3).

No caso em que não se conhece, a priori, as coordenadas de A ou B, pode-se fazer uso do código de fase (pseudo-distância, eq. 2-5) para a solução da posição de pontos. Isto introduzirá, para a maioria das aplicações, um erro insignificante. Assim, pode-se conseguir medir o vetor entre dois pontos desconhecidos, em segundos, com precisão de milímetros, combinando a pseudo-distância e a troca de antenas.

Desta forma; o método do intercâmbio de antenas permite determinar o vetor inicial AB e os valores das ambiguidades inteiras. Estes inteiros podem ser usados para refinar o vetor inicial e podem ser transportados para outro local desconhecido pelo subsequente levantamento cinemático GPS.

2.4.2. O modelo matemático

O intercâmbio de antenas é semelhante ao levantamento cinemático, tanto nos conceitos quanto na geometria dos satélites. O autor do método recomenda o uso de cinco ou mais satélites, isto, devido à proximidade física das antenas, ao reduzido cansaço humano envolvido e ao fato de que tais medidas repetidas são de baixo custo.

Na mudança das antenas assume-se rastreamento contínuo nos dois receptores. Especificamente, a equação (2-13) se aplica à época t_1 (antes da troca) e para a época t_2 (após a troca de antenas) tem-se, segundo |31|:

$$DD_{12}^{jk}(t_2) = -\rho_{BA}^{jk}(t_2) + N_{12}^{jk} \quad (2-16)$$

Verifica-se que na equação (2-16) os índices dos receptores não mudaram enquanto que os índices das estações mudaram.

Semelhante ao modo cinemático, pode-se acompanhar o processamento através da expressão da tripla diferença:

$$DD_{12}^{jk}(t_2) - DD_{12}^{jk}(t_1) = -\rho_{BA}^{jk}(t_2) + \rho_{AB}^{jk} \quad (2-17)$$

Como se trata de um método de posicionamento relativo, uma das duas estações, A ou B, deve ser conhecida, enquanto que a outra está para ser determinada e, conseqüentemente, o vetor inicial AB.

Considerando a estação A conhecida, pode-se estimar as coordenadas da estação B usando a expressão (2-17). De

fato, separando-se os termos conhecidos à esquerda e os desconhecidos à direita, tem-se:

$$\begin{aligned}
 & DD_{12}^{jk}(t_2) - DD_{12}^{jk}(t_1) + \rho_A^k(t_2) - \rho_A^j(t_2) + \rho_A^k(t_1) - \\
 & - \rho_A^j(t_1) = \\
 & \rho_B^k(t_2) - \rho_B^j(t_2) + \rho_B^k(t_1) - \rho_B^j(t_1) \quad (2-18)
 \end{aligned}$$

Verifica-se com o auxílio da expressão (2-5), que as coordenadas (X, Y, Z) da estação B são envolvidos na equação (2-18) nos termos ρ_B de forma não-linear. Em [31], é descrito detalhadamente todos os passos necessários para a linearização do modelo matemático do intercâmbio de antenas, bem como, as deduções necessárias para a sua obtenção.

Uma vez obtida as coordenadas da estação B, numa primeira aproximação, pode-se determinar as ambiguidades inteiras (N_{12}^{jk}) pelo uso das expressões (2-13) e/ou (2-16). Assim, pode-se fixar os inteiros exatos para N_{12}^{jk} e aplicá-los em uma das duas expressões, citadas no presente parágrafo, visando uma estimativa mais precisa das coordenadas da estação B.

Falando um pouco mais sobre a exatidão do método, pode-se afirmar que está intimamente relacionada com o PDOP (diluição da precisão tri-dimensional [01]). Com 5 ou 6 ou

mais satélites se conseguirá PDOPs com valores reduzidos. Isto resultará em uma exatidão do método da troca de antenas ao nível de 1 milímetro.

2.4.3. Primeira experiência com o método

Na segunda experiência envolvendo o levantamento cinemático GPS, proposta por Remondi e conduzida pelo National Bureau of Standards (NBS), descrita na secção 2.3.4. e cuja configuração geral está representada na figura 2-4, demonstrou-se a técnica do intercâmbio de antenas.

Os marcos NBS 3a e NBS 3b foram estabelecidos no dia 12 de agosto de 1985 pelo uso de métodos clássicos, para a demonstração do método cinemático e da troca de antenas. No experimento, considerou-se o marco NBS 3 como a estação fixa e o marco NBS 3b como a estação inicial do receptor móvel.

As coordenadas do NBS 3 já eram conhecidas a priori. Então deveria-se aplicar a técnica do intercâmbio de antenas para se determinar as coordenadas do marco NBS 3b e, conseqüentemente, o vetor inicial NBS 3 - NBS 3b, além dos valores das ambigüidades inteiras (N). Subseqüentemente, poderia-se empregar o método cinemático GPS para se determinar as posições geodésicas dos demais marcos envolvidos na experiência.

As coordenadas do NBS 3b foram determinadas através de quatro trocas de antenas. A partir dos resultados obtidos nas quatro determinações, a média destas foi utilizada para

compará-la com as coordenadas "verdadeiras" (conhecidas a priori).

A comparação entre as coordenadas determinadas pelo método da troca de antenas e as coordenadas conhecidas a priori ("verdadeiras") revelou diferenças ao nível do milímetro: 1,4 mm na latitude; 1,0 mm na longitude e 2,0 mm na altura elipsoidal [44].

Após tal demonstração, o que antes era um sonho da comunidade geodésica, ou seja, determinar as coordenadas precisas de pontos e as ambiguidades inteiras para posterior levantamento de uma área restrita (com precisão ao nível do milímetro e em segundos), se tornou realidade.

É nitidamente observável que o sucesso dos métodos rápidos de posicionamento GPS está relacionado com o intercâmbio de antenas. Este, além de solucionar o problema das ambiguidades inteiras também é um método de posicionamento relativo para curtas distâncias. O uso de 5 ou mais satélites permite detectar perdas de ciclos (cycles slips). Quando se rastreia somente 4 satélites é exigida repetição das medidas e alcança-se resultados inferiores em locais cuja geometria dos satélites seja pobre (PDOP alto).

2.5. O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO

O método pseudo-cinemático foi assim denominado por seu autor, Remondi, em 1987 conforme apontado na introdução ao presente capítulo. No entanto, em 1983 ele era

considerado com o nome de "Snap-shot GPS" pelo mesmo autor. Tal técnica foi utilizada, inicialmente, em 1985 para estabelecer posições iniciais para posterior pós-processamento cinemático. Aos poucos se firmou como um método próprio para levantamento GPS [46].

Na presente dissertação, o nome do método será preservado por considerá-lo como um falso-cinemático. Trata-se de uma técnica em que há visitas do receptor móvel num ponto desconhecido em tempos múltiplos de durações breves (em geral, 5 minutos). O posicionamento estático GPS está envolvido, como se pode verificar na sequência.

2.5.1. Descrição do método

Este método baseia-se no fato de que o período total de observação é muito mais importante do que o número de observações. Passa pela questão da geometria. As grandes mudanças nas posições dos satélites resultam em força geométrica para o posicionamento. Assim, deve-se observar os satélites por curtos períodos, em geral 3 a 5 minutos, espaçados por períodos mais longos, 30 a 60 minutos.

Durante os períodos mais longos pode-se ocupar outros pontos relativamente próximos. Andrade [04] cita o exemplo em que se tem uma frequência de observações de 20 segundos, então, em 5 minutos obtém-se 15 leituras. Para um período de espera de 60 minutos, é possível ocupar outros três pontos por cinco minutos, restando 40 minutos para deslocamento e

instalação da antena. No exemplo citado os pontos deveriam estar distanciados de cerca de 300 metros para deslocamento a pé ou cerca de 3 km para deslocamentos em viaturas com velocidade média de 30 km/hora.

No método pseudo-cinemático não há necessidade de se manter os satélites em sintonia durante o trajeto. O receptor pode, até mesmo, ser desligado durante o percurso entre as estações. Isto torna este método utilíssimo em regiões onde existem obstruções aos sinais emitidos pelos satélites durante os deslocamentos. Por outro lado, ele exige a reocupação dos pontos.

Os dados coletados em uma referida estação, à partir de todas as visitas, são reunidos e processados no modo estático GPS (ver modelo matemático em 2-5-2), enquanto as demais observações são ignoradas. Trata-se de um método de posicionamento relativo. Portanto, há um receptor/antena estacionário e outro móvel, apesar de não ser uma exigência do método.

A fase da portadora é utilizada e está implícito uma exatidão ao nível do centímetro (e.g., 1 cm) [45].

2.5.2. O modelo matemático

O método de posicionamento pseudo-cinemático não tem equações específicas. Ele utiliza os modelos disponíveis para o posicionamento estático GPS. O que difere os dois métodos são os períodos de observações.

As observações onde o receptor/antena não estava são simplesmente ignoradas. No entanto, para se obter melhores resultados se faz necessário fixar as perdas de ciclos ocorridos entre as visitas. Também os inteiros exatos, referentes às ambiguidades (N_{12}^{jk}), devem ser colocados no modelo da dupla diferença de fase.

Como no estático o método pseudo-cinemático GPS exige um número mínimo de dois satélites, no entanto, fornece resultados muito pobres. O número de revisitas exigido é um. Na prática 3 visitas de 3 a 5 minutos usando 4 satélites é recomendado para se obter boa precisão nos resultados.

Considerando os satélites j e k , os receptores/antenas 1 e 2, as estações A (conhecida) e B (desconhecida), pode-se escrever o modelo das observações para dupla diferença de fase:

$$DD_{12}^{jk}(t) = m_2^k - m_1^k - m_2^j + m_1^j \quad (2-19)$$

conforme mostrado em secções anteriores (2-2-4 e 2-3-2). Ignorando os erros dos relógios, outros efeitos sistemáticos e erros randômicos, pode-se reescrever o modelo da dupla diferença como:

$$DD_{12}^{jk}(t) = -\rho_{AB}^{jk}(t) + N_{12}^{jk} \quad (2-20)$$

semelhante à equação (2-13) da secção (2-3-2).

Dispondo de uma quantidade suficiente de satélites (no mínimo quatro) e de épocas próximas de observações (t_1 e t_2), pode-se determinar a posição de B, numa primeira aproximação, usando o modelo da tripla diferença:

$$TD_{12}^{jk}(t_1, t_2) = DD_{12}^{jk}(t_2) - DD_{12}^{jk}(t_1) \quad (2-21)$$

o qual resultará no modelo simplificado:

$$TD_{12}^{jk}(t_1, t_2) = -\rho_{AB}^{jk}(t_2) + \rho_{AB}^{jk}(t_1) \quad (2-22)$$

O fato das épocas t_1 e t_2 serem consecutivas fornece imunidade para a perda de ciclos. No entanto, observações com perdas de ciclos são detectáveis e podem ser editadas.

De posse da estimativa das coordenadas de B, pode-se obter as ambiguidades inteiras N_{12}^{jk} pelo uso da equação (2-20). Posteriormente, fixa-se os inteiros exatos e recalcula-se a posição da estação B, desta vez, mais exata, usando-se a mesma expressão da dupla diferença.

O tratamento matemático necessário ao posicionamento estático GPS e, conseqüentemente, ao pseudo-cinemático pode ser encontrado detalhadamente em |01| e |41|, dentre

outros.

2.5.3. Testes e experiências

A técnica do pseudo-cinemático GPS foi utilizada pela primeira vez, em 1985, por Remondi com o objetivo de fornecer posições iniciais do receptor/antena móvel para subsequente levantamento cinemático.

Alguns exemplos são encontrados em [04], [07], [45] e [46] dentre outros trabalhos, que confirmam a força do método de posicionamento pseudo-cinemático GPS.

Na expectativa de apresentar resultados obtidos em testes e experiências realizadas em território brasileiro, citar-se-á aquelas executas na Universidade Federal do Paraná e reportados em Andrade [04]. Por si só, elas não tem significado estatístico mas, somadas às outras semelhantes realizadas nos Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, podem adquirí-lo.

Os testes foram divididos em dois grupos, sendo o primeiro para verificar a precisão em distância, e o segundo para verificar a precisão em altitude. Todos executados com dois receptores da marca ASHTECH, cedidos pela empresa Georeferencial.

O primeiro grupo de testes foi realizado sobre a base de aferição de distanciômetros eletrônicos da UFPr, estabelecida pelo professor Álvaro Doubek e medida pelo mestre em Ciências Geodésicas Joel Grip com o ELTA II e

Telurômetro CA-1000 |26|.

As primeiras observações foram feitas no mês de maio de 1989, visando uma comparação das soluções dos métodos de posicionamento estático e pseudo-cinemático. Para tal, usou-se dois marcos distanciados cerca de 600 metros, instalaram-se as antenas (móvel e fixa) sobre os respectivos marcos, observou-se por 5 minutos, desligou-se o receptor móvel, tornou ligá-lo por 1 hora, se desligou o receptor móvel novamente e por último o ligou por mais 5 minutos. Os resultados apresentados pelas duas soluções (estático e pseudo-cinemático) diferiram de 1 milímetro para o valor da distância, anteriormente determinada com o ELTA II.

Sobre a mesma base de aferição, repetiu-se a experiência em junho de 1989, desta vez somente com o método pseudo-cinemático e ocupando quatro marcos. A comparação entre a solução GPS e a anterior (ELTA II) mostrou as discrepâncias de 1 mm, 2 mm e 4 mm.

O segundo grupo de testes, para verificar a precisão de nivelamento, foram realizados na mesma época do grupo anterior. Desta feita, ocupou-se quatro pontos cujas altitudes eram conhecidas, pelo nivelamento geométrico convencional, dentro da área do Centro Politécnico da UFPr. Os dois processos de nivelamento, convencional e pseudo-cinemático GPS, foram feitos por alunos da disciplina Projeto Final do Curso de Engenharia Cartográfica.

Os desníveis geoidais não foram considerados em

virtude da pequena distância entre os pontos. A comparação das soluções (nivelamento geométrico menos nivelamento GPS) revelou as seguintes discrepâncias em milímetros:

Pontos	Experiências	
	1	2
RN	-	-
18	2	5
22	2	2
24	-3	-3

Nos dois grupos de testes, o método pseudo-cinemático foi realizado com um mínimo de cinco satélites, como recomenda o seu autor, com períodos de observação de 5 minutos, respeitando-se 60 minutos de intervalo.

2.6. ASPECTOS RELEVANTES

Os métodos rápidos de posicionamento GPS tem alguns aspectos em comum e outros que os diferem. Apresentam também características que os fazem ora eficazes, ora débeis. Tais aspectos e características constituem o objeto da presente secção.

2.6.1. Diferenças geométricas

As diferenças na geometria entre os métodos estático (pseudo-cinemático) e cinemático GPS são fundamentais e severas. No modo pseudo-cinemático (estático) a mudança na geometria das estações dos satélites é requerida. Isto faz com que o efeito Doppler (para os satélites) seja essencial. Quanto mais ocorrer, melhor.

No modo cinemático (e de intercâmbio de antenas) tal efeito (para os satélites) é irrelevante. Os dois métodos trabalhariam bem e de forma correta se os satélites fossem fixos (satélites geostacionários)² em relação ao usuário. Por esta razão, Remondi (autor dos métodos) tem proposto a adição de um satélite geostacionário à constelação do NAVSTAR-GPS. Isto se justifica pelo fato do modo cinemático exigir o rastreamento contínuo sobre cinco ou mais satélites quando se deseja bons resultados. A adição de tal satélite à constelação total de 24 veículos espaciais, prevista e reportada na secção 1-5 deste trabalho, implicaria em um acréscimo aproximado de 4 % no número de satélites e melhoraria a cobertura (dia e noite) em 20 %. Além do exposto também melhoraria as determinações em tempo real para a navegação aérea e marítima.

As diferenças geométricas entre os métodos podem ser

² Satélite geostacionário é o satélite que tem o período de revolução igual ao período sideral de rotação da Terra (23 horas, 56 minutos e 4,1 segundos), a órbita circular (excentricidade $e = 0$) e jacente no plano equatorial (inclinação $i = 0$ |18|).

verificados com o auxílio da figura 2-6.

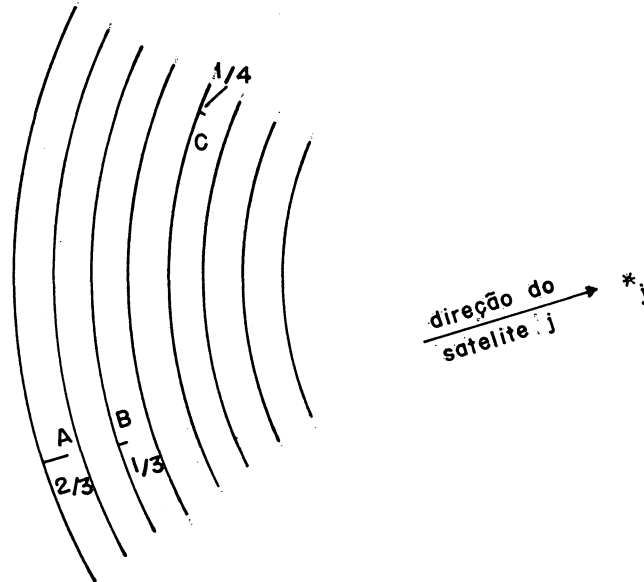


Figura 2-6. Diferenças geométricas entre os métodos pseudo-cinemático e cinemático. (extraído de [45]).

Considerando o satélite j estacionário em relação aos marcos A e B; a fase da portadora sendo medida no tempo t_1 em A e B e a diferença de fase $\phi(t_1)$

$$\phi(t_1) = \phi_B(t_1) - \phi_A(t_1) \quad (2-23)$$

é formada. No tempo (t_2) a diferença de fase será

$$\phi(t_2) = \phi_B(t_2) - \phi_A(t_2) \quad (2-24)$$

Mas, como não ocorreu nenhum movimento do satélite j

$$\phi(t_2) = \phi(t_1) \quad (2-25)$$

e portanto,

$$\phi(t_2) - \phi(t_1) = 0 \quad (2-26)$$

O processamento no modo estático (ou no pseudo-cinemático) não pode resolver as ambiguidades, pois, o componente do vetor AB na direção do satélite j é $N + 2/3$ ciclos. No entanto, o N é indeterminado.

Por outro lado, no modo cinemático a antena é transportada fisicamente do marco B para o marco C e as extremidades da fase são contadas de modo que, no instante em que o marco C é alcançado a mudança de fase não é ambígua. Na situação representada, conta-se ou mede-se $1 + 11/12$ ciclos. Verifica-se que nenhuma mudança na geometria do satélite j foi exigida.

2.6.2. Aspectos favoráveis X aspectos desfavoráveis

2.6.2.1. Do método cinemático

A eficácia do método de posicionamento cinemático GPS se deve principalmente aos aspectos:

- rapidez ou velocidade, ao nível dos segundos;
- modestas informações requeridas;
- exatidão, ao nível de poucos milímetros;
- aplicações para navegação a tempo real, na terra, no ar e no mar;
- menor custo operacional, em relação ao estático, para levantamentos locais.

A fragilidade do método se deve aos aspectos desfavoráveis:

- rastreamento contínuo da fase da portadora sobre o mínimo de quatro satélites, não permitindo perdas de ciclos, restringindo a aplicação do método às áreas mais abertas;
- programas de software incluindo a perda de ciclos exigem uma certa complexidade;
- dois pontos conhecidos e relativamente próximos.

2.6.2.2. Do método do intercâmbio de antenas

A eficácia do método da troca de antenas se deve aos aspectos favoráveis:

- imediata determinação de um vetor inicial para subsequente levantamento cinemático;
- imediata determinação de inteiros iniciais para subsequente levantamento cinemático;

Considerando disponível a solução pelo código de fase, ainda é possível medir em fração de segundos:

- a distância entre dois pontos A e B desconhecidos;
- o azimute geodésico entre os marcos A e B desconhecidos;
- a diferença de altura entre os marcos A e B desconhecidos.

A fragilidade do método se deve aos dois primeiros aspectos apontados para o método cinemático.

2.6.2.3. Do método pseudo-cinemático

A eficácia do método se deve aos aspectos:

- permite a ocupação de mais pontos em menos tempo, em relação ao modo estático GPS regular;
- permite a perda de ciclos durante o período de espera, podendo até desligar o receptor móvel, tornando-o utilizável em levantamento de pontos onde tenha obstáculos entre os mesmos;
- é processado com software do modo estático GPS regular.

A fragilidade do método pseudo-cinemático se deve aos seguintes aspectos:

- o percurso é aumentado, se comparado ao cinemático, uma vez que revisitas são requeridas;
- é mais lento que o modo cinemático;
- a sua aplicação é para levantamentos locais, enquanto que o estático GPS não tem limites;
- enquanto o cinemático é uma técnica para medidas de bases, navegação veicular (terrestre, aérea e marítima), o pseudo-cinemático é estritamente para levantamentos.
- o rastreamento sobre o mínimo de 4 satélites é exigido, sem permitir a troca dos mesmos em todo o levantamento.

2.6.3. Perspectivas futuras

O método de posicionamento cinemático GPS para o solo, ar e mar promete muito em termos futuros. As viabilidades econômicas são quase óbvias.

O modo cinemático será provavelmente valorizado devido os itens abaixo, segundo [45]:

- a - possibilitar um elo de comunicação entre os receptores estacionário e móvel, a baixo custo, para aplicações em tempo real; isto permitirá completo conhecimento com respeito às perdas de ciclos e permitirá uma navegação e posicionamento, ao nível dos milímetros, para construções, arquitetura, barragens; além de

aplicações tais como, a locação de plantas ou distribuição da agricultura para locais predesignados; apoio fotogramétrico sem pontos de apoio terrestre, dentre outras;

- b - o desenvolvimento tecnológico de receptores GPS somado aos osciladores estáveis, expandirá as aplicações do método, fazendo com que o problema da perda de ciclos não exija ajudas iniciais onde interrupção no rastreamento não sejam tolerados;
- c - a economia do cinemático será tal, por volta do ano 2000, que uma plataforma geostacionária será seriamente considerada;
- d - a combinação dos sistemas NAVSTAR-GPS e GLONASS, hoje já sugerida, para aplicações civis;
- e - o bloco II de satélites contar com osciladores tão bons que receptores simples poderão ser utilizados, no modo cinemático, sobre períodos de poucos minutos;
- f - o pseudo-cinemático se constituir num forte aliado em levantamentos de terrenos em que houver obstruções;
- g - o intercâmbio de antenas ser uma técnica que forneça os requisitos iniciais para a aplicação do método.

Após a apresentação dos métodos rápidos de posicionamento GPS, a aplicação dos mesmos surge como uma necessidade natural, num trabalho, cujo objetivo central é descrever sobre o uso do sistema global de posicionamento GPS em levantamentos geodésicos locais. Tais aplicações se constituem no objeto do próximo capítulo.

3. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

3.1. INTRODUÇÃO

Na secção 1.2.3., encontra-se a classificação dos levantamentos geodésicos de acordo com as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro [13]. Como o presente trabalho tem por finalidade primeira, o emprego do Sistema de Posicionamento Global (GPS) nas medições geodésicas de curta distância, emana a necessidade de evocar detalhes relacionados aos parâmetros exigidos para os levantamentos locais [ibid].

Das referidas especificações e normas destacam-se as exigências mostradas no quadro 3-1, referentes à poligonização e nivelamento geométrico em levantamentos locais.

Quadro 3.1

<u>Ítem do levantamento</u>	<u>Exatidão mínima</u>
Planimetria	1:5000
Altimetria	6mm \sqrt{K}
Azimute	8"/estação ou 20 \sqrt{N}
Erro padrão em coordenadas após a compensação em azimute	0,8m \sqrt{L}
Erro padrão relativo máximo entre quaisquer duas estações após o ajustamento	1:5000
Posicionamento Relativo com satélites = Translocação (σ ou $\Delta\sigma$)	0,5m
sendo:	
K - comprimento da linha em quilômetros = K (km);	
L - comprimento da poligonal em quilômetros (km);	
N - número de estações;	
σ - desvio padrão;	
$\Delta\sigma$ - diferença de desvios padrões.	
(σ ou $\Delta\sigma$)	

Quadro 3-1. Exatidões especificadas para os levantamentos locais (extraídas de |13|).

Os valores contidos no quadro 3-1 servem como valores mínimos exigidos para as exatidões a serem conseguidas pelas diferentes tecnologias, métodos e processos utilizados no levantamento local considerado na presente dissertação.

Este capítulo se limita ao relato sobre o uso dos métodos de posicionamento GPS, anteriormente apresentados (ver capítulo 2). O enfoque será dado à coleta de dados no campo e ao processamento dos mesmos. Em paralelo, serão apresentados resultados obtidos com o uso do medidor eletrônico de distâncias (MEDD) e do nivelamento geométrico.

3.2. DEFINIÇÃO DOS VÉRTICES DO POLÍGONO

A escolha de marcos existentes em área com poucas obstruções dentro dos limites do Centro Politécnico da UFPr norteou a definição do polígono a ser ocupado pelos instrumentos topográficos e pelos instrumentos GPS. Desta forma, deu-se preferência à região ocupada pelo Departamento de Educação Física, conforme a planta de situação apresentada na figura 3-1.

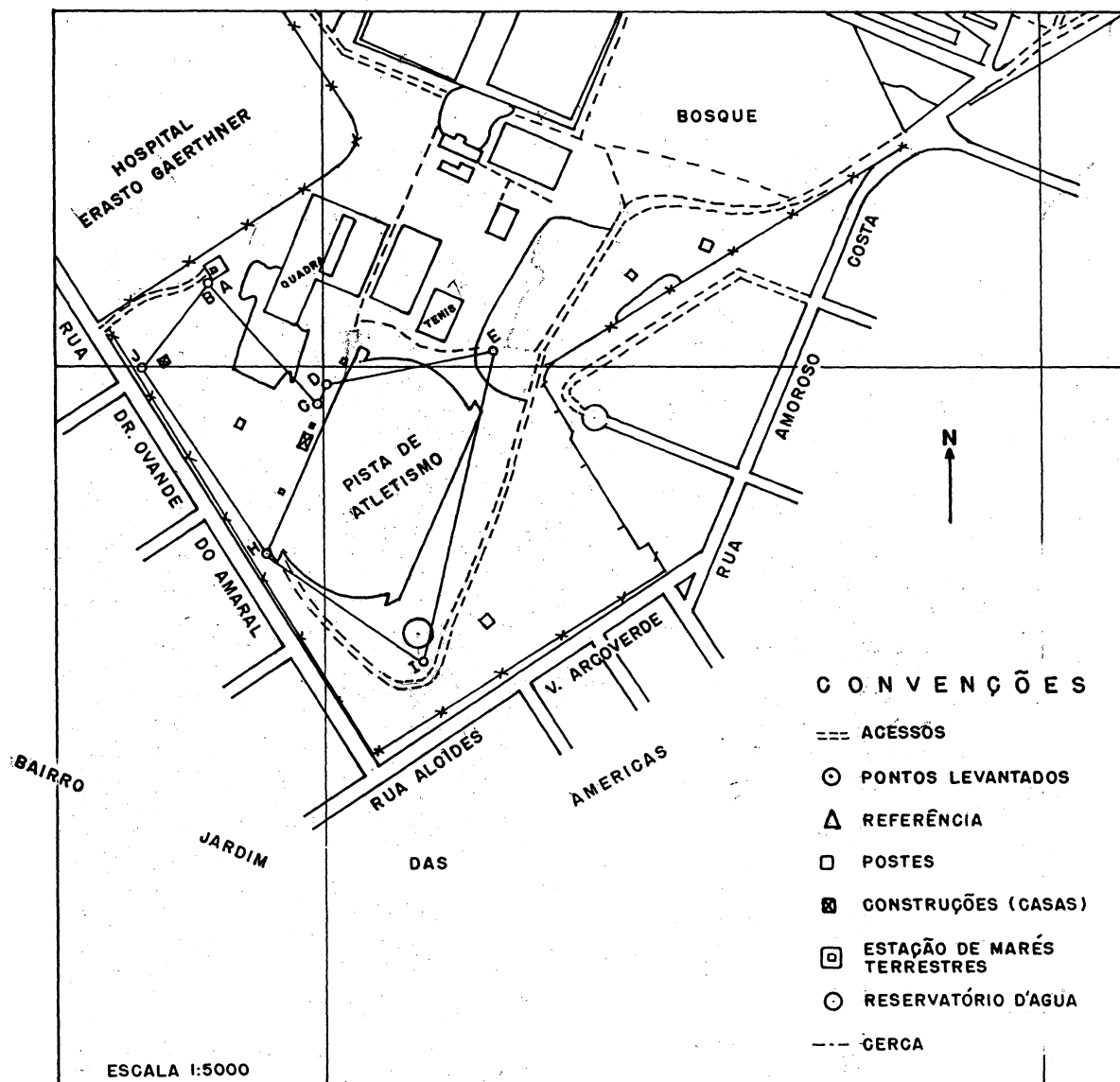


Figura 3-1 Planta de situação do local do levantamento (baseada na carta do C. Politécnico)

Os métodos de posicionamento GPS não exigem a intervisibilidade entre os vértices do polígono, ao contrário dos métodos clássicos. Eles independem das condições atmosféricas; podem ser realizados durante o dia ou à noite, dentre outras vantagens. No entanto, apresentam determinadas características que requerem um bom reconhecimento das estações a serem ocupadas.

As exigências impostas pelos métodos GPS na definição dos vértices do polígono, basicamente são:

- evitar obstruções, caso existam recomenda-se que estejam abaixo de 15° - 20° em relação ao horizonte para que não dificultem ou impeçam a recepção dos sinais transmitidos pelos satélites;

- evitar multicaminhos do sinal, as estações devem se situar longe de estruturas metálicas e de fios de alta tensão;

- acessibilidade às estações, em levantamentos gerais o ideal é que se possa chegar até os marcos com a viatura, mas, no caso específico observou-se o percurso entre os pontos de forma a permitir o rastreamento dos sinais dos satélites

A figura 3-2 possibilita melhor descrição e localização dos marcos que constituem o polígono implantado. Alguns dos pontos já existiam no local e foram aproveitados. Outros foram colocados especificamente para o presente levantamento.

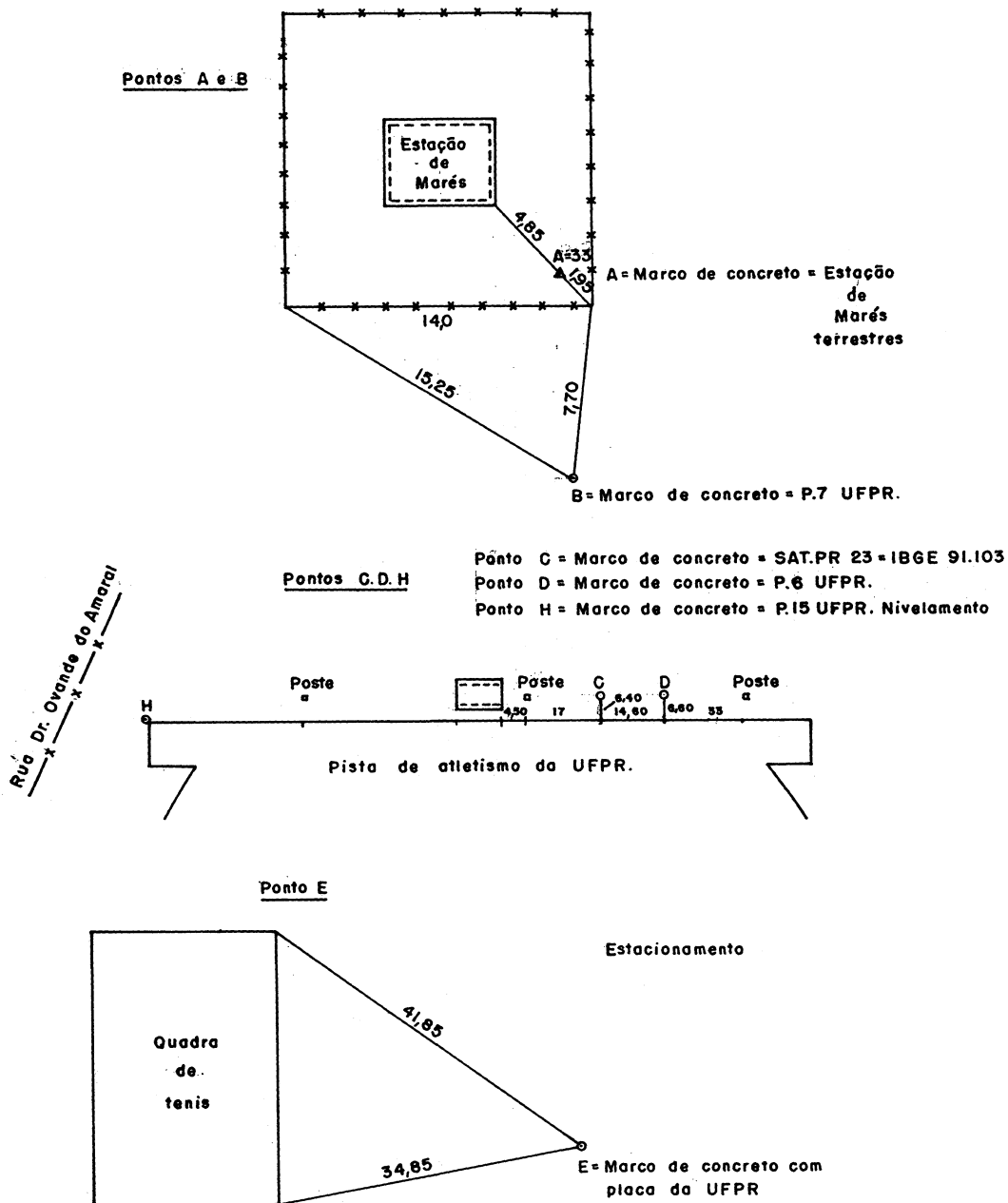


Figura 3-2-a Localização planimétrica dos vértices A, B, C, D, E, H.

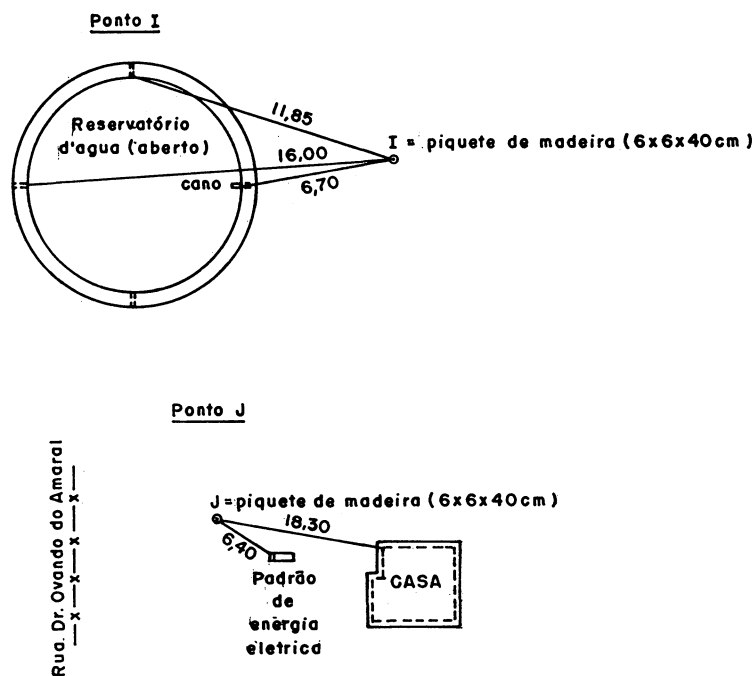


Figura 3-2-b Localização planimétrica dos vértices

I, J.

3.3. COLETA DOS DADOS DE CAMPO

3.3.1. Medidas eletrônicas e nivelamento geométrico

A descrição minuciosa da coleta dos dados utilizando-se destas técnicas torna-se inoportuna, por se tratar de métodos amplamente empregados em território brasileiro.

Os instrumentos utilizados na coleta dos dados referentes a esta etapa foram:

- conjunto distanciômetro eletrônico (DM 502) - teodolito (K1-S) - refletores (prismas), cedido pelo ITCF-PR;

- alvo com sistema de calagem, prumo óptico e acoplável em tripé;

- base de centragem forçada, para instalação de teodolitos ou alvos sobre pilares;

- aneróide ou barômetro aneróide, fornece a pressão atmosférica;

- psicrômetro, para fornecer a umidade do ar através das temperaturas seca e úmida;

- tripés, para o teodolito-distanciômetro e para os refletores, ambos com bastão;

- nível automático ou de bolha;

- mira

Objetivando as correções e reduções necessárias à obtenção de melhores resultados das distâncias e diferenças de alturas entre os vértices do polígono, foram coletadas

informações referentes às temperaturas seca e úmida e a pressão atmosférica correspondentes à cada uma das medidas eletrônicas da distância entre os citados vértices. Registrou-se o mínimo de seis valores das distâncias inclinadas entre os pontos e o mínimo de quatro leituras angulares (duas em posição direta e duas em posição invertida) tanto no limbo horizontal quanto no vertical.

O nivelamento geométrico foi executado na forma de duplo-nivelamento sobre os pontos do polígono considerando a altitude, em relação ao nível médio dos mares, do marco da Estação de Marés Terrestres (vértice A) como referência para os demais vértices do polígono.

3.3.2. Uso da tecnologia GPS

3.3.2.1. Planejamento

O planejamento das observações GPS, além dos itens apontados na secção 3.2., deve considerar aspectos como:

- disponibilidade de satélites;
- geometria oferecida pelos satélites disponíveis;
- pré-processamento no campo para garantir a boa qualidade das observações;
- remessa de dados para um centro de processamento.

O terceiro aspecto, acima referido, não foi considerado no presente trabalho pelo fato do centro de processamento se localizar relativamente próximo ao local do

levantamento.

O primeiro e o segundo aspectos podem ser solucionados com o uso de um programa denominado ALERT. Este é de fundamental importância enquanto a constelação final do projeto NAVSTAR-GPS (ver secção 1.5) não estiver completa.

O ALERT fornece uma lista dos satélites visíveis numa dada estação, para uma data definida, a intervalos de 5, 10, 15, 20 ou 30 minutos. Para cada satélite visível informa a elevação e o azimute (contado do Norte). O programa ainda calcula as coordenadas dos satélites. Esses elementos possibilitam a elaboração de gráficos que facilitam a definição de intervalos de tempo onde se tem o mínimo de satélites exigidos para os trabalhos de posicionamento GPS |01|.

O cálculo do ALERT é obtido à partir de dados do almanaque dos satélites, nos quais se encontram os elementos orbitais. Deve-se fornecer como dados ao programa: as coordenadas aproximadas da estação (latitude, longitude, altitude); a data que se deseja rastrear, o valor do ângulo de elevação (máscara) e o número mínimo de satélites visíveis que se deseja.

No apêndice II, mostra-se a tabela fornecida pelo ALERT e o gráfico polar. Os gráficos de disponibilidade, de elevação e de visibilidade podem ser feitos à partir da tabela.

De posse da tabela fornecida pelo ALERT para a data 29/11/90, determinou-se as "janelas de observação"

prevendo-se um mínimo de 4 satélites.

A questão da geometria oferecida pelos satélites disponíveis é respondida pelo PDOP [47]. Quanto menor o PDOP, mais forte será a geometria. Esta depende da posição dos satélites, que pode ser verificada através da elevação e do azimute dos veículos espaciais. Se estiverem distribuídos no céu, a geometria será melhor do que se estiverem numa mesma região celeste.

Desta forma, as observações GPS foram planejadas para as "janelas de observações" que apresentaram melhores condições: número mínimo de satélites compatível com os métodos rápidos GPS e geometria forte.

3.3.2.2. Equipamento

No capítulo anterior mencionou-se sobre os receptores GPS em algumas ocasiões. Na verdade existem variados receptores [47]. Dentre as principais diferenças entre eles, pode-se citar: o fato de usarem ou não os códigos [01], o número de canais de recepção, o fato de captarem os sinais das portadoras L_1 e L_2 ou somente da L_1 .

Para os trabalhos de posicionamento geodésico necessita-se de receptores com o mínimo de quatro canais de recepção (um canal para cada satélite). No caso do posicionamento absoluto bastaria um receptor. No posicionamento relativo há a necessidade de dois receptores GPS. A UFPr dispõe de um (01) receptor. Assim, foi

necessário contar com o apoio integral das empresas GEOREFERENCIAL E GEOKOSMOS quanto ao equipamento GPS, pessoal, viatura e processamento dos dados.

Nas observações foram utilizados dois receptores GPS ASHTECH XII. Eles oferecem a possibilidade de rastrear até 12 satélites (o máximo possível quando a configuração estiver completa), ou seja, dispõem de 12 canais de recepção. As informações sobre os satélites são dadas através de 10 displays e menus enumerados de 0 a 9. Nestes é possível a entrada de dados durante as operações de campo.

Para compor o sistema de recepção tem-se as antenas, tripé, cabos das antenas, baterias externas, cabos das baterias. A descrição sobre o uso dos receptores se encontra detalhada no Manual de Operações |08|.

A ASHTECH, como os demais fabricantes, fornece uma variedade de software (programas) geodésico como parte do Ashtech GPS Survey System|09|.

3.3.2.3. Execução do método intercâmbio de antenas

As coordenadas elipsóidicas (latitude, longitude e altitude) das estações A e C foram determinadas com os transportes de coordenadas realizado pelo método de posicionamento estático GPS, à partir do ponto P-02 - Centro Cívico e PP01 - Santa Cândida, respectivamente. Eles estão referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e ao SAD-69 através do marco IBGE em Bocaiúva do Sul.

O método do intercâmbio de antenas, como visto no capítulo anterior, não exige tal transporte de coordenadas. Poderia-se obter as coordenadas aproximadas da estação A, através do posicionamento absoluto, pois, o receptor utilizado fornece tais valores em fração de segundos. No entanto, o objetivo final do transporte de coordenadas é referenciar o levantamento local ao SGB.

Considerando a estação A como conhecida e a estação B como a estação inicial do subsequente levantamento cinemático GPS, ocupou-se as mesmas com as antenas 1 e 2, respectivamente.

A execução do método do intercâmbio de antenas ocorreu nos dias 11/11/90 tendo como estação conhecida o ponto A, e no dia 29/11/90 como estação conhecida o ponto C. Nas duas ocasiões seguiu-se as etapas:

- 1 - Limpar as memórias dos receptores deletando os arquivos existentes, através do painel 8. Tal operação exige que os cabos das respectivas antenas estejam desconectados.

- 2 - Introduzir informações referentes ao intervalo de recepção (múltiplos de 5 segundos), ao número mínimo de satélites e a máscara da elevação, para as quais serão registradas as observações GPS nas memórias dos receptores. Usar o painel 4. Os cabos das antenas devem estar conectados aos respectivos receptores.

- 3 - Usar o painel 9 para introduzir informações referentes aos itens: SITE (nome da estação ocupada pela respectiva antena, com 4 dígitos), SESS (sessão A, B, C, D,

E, ...Z; na referida data), RCV e ANT (identificação dos receptores e antenas), MMDD (mês e dia do levantamento), OPR (operador), CODE (especificar melhor o local, a experiência, a obra, com 13 dígitos), HI (altura da antena antes) e EPOCHS (informar o número de observações GPS que se deseja registrar sobre cada estação ocupada).

4 - Ainda no painel 9, acionar as teclas e nos dois receptores (para armazenar as informações da etapa 3) ao mesmo tempo, somente quando as antenas estiverem perfeitamente instaladas (niveladas e orientadas para o norte) sobre as estações.

5 - Coletar as observações GPS até que o item EPOCHS do painel 9 fique zerado. Automaticamente, o item SITE mostrará ????. Enquanto se coleta tais observações, pode-se preencher a caderneta de anotações, extraíndo as informações dos painéis 1 (satélites, elevações, URA) e 2 (PDOP).

6 - Proceder à troca das antenas: a antena 1 vai ocupar a estação B e a antena 2 vai ocupar a estação A. Durante a troca deve-se acompanhar, através do painel 1, o número de informações contínuas (CNT) de cada satélite rastreado. Caso ocorra alguma perda de ciclo, o CNT do referido veículo espacial reiniciará à partir de zero. O método exige que no mínimo quatro satélites não sofra perda de ciclo. As antenas continuaram orientadas e niveladas (dentro do possível) durante o intercâmbio.

7 - Usar o painel 9 para introduzir o nome das estações: no receptor 1 colocar BBBB (quatro dígitos) e no receptor 2 colocar AAAA no item SITE. Acionar as teclas e ao mesmo tempo, quando as antenas estiverem devidamente instaladas.

8 - Coletar as observações GPS referentes à época t_2 .

9 - Repetir as etapas 6, 7 e 8 pelo número de vezes que se desejar. O método exige somente uma troca de antenas (épocas t_1 e t_2). Como o presente trabalho tem dupla finalidade, experiência e aplicação do método, coletou-se observações GPS por um número maior de épocas.

<u>INTERCAMBIO DE ANTENAS</u>							
SECÇÃO: C		CENTRO POLITÉCNICO		TESE		DATA: 29/11/90	
ÉPOCA	HORA	ANTENA	ESTAÇÃO	SATÉLITES	ELEVAÇÃO	URA	PDOP
t_1	16:25	2	CCCC	20	17°	00	001
t_1	16:25	1	DDDD	03	11°	00	001
t_2	16:30	2	DDDD	06	15°	02	001
		1	CCCC				001
t_3	16:34	2	CCCC	09	62°	01	001
		1	DDDD				001
t_4	16:38	2	DDDD	12	65°	02	002
		1	CCCC				002
t_5	16:42	2	CCCC	13	25°	01	002
		1	DDDD				002
t_6	16:45	2	DDDD				002
		1	CCCC				002
t_7	16:48	2	CCCC				002
		1	DDDD				002
<u>CROQUI E OBSERVAÇÕES</u>							
Estação conhecida CCCC							
Estação inicial do receptor móvel DDDD							

Tabela 3-2. Caderneta para o método do Intercâmbio de antenas.

3.3.2.4. Do método cinemático

O método de levantamento cinemático GPS requer dois pontos conhecidos, como visto no capítulo 2. Adotou-se o método do intercâmbio de antenas para se obter o vetor inicial e as ambiguidades inteiras das fases nas campanhas dos dias 11/11/90 e 19/11/90. No dia 25/11/90, a título de experiência, adotou-se a base BA como conhecida (ver apêndice II).

Uma vez determinadas as exigências de inicialização, desenvolveu-se o levantamento cinemático GPS passando pelas etapas relacionadas na sequência. Considerando as etapas de 1 à 9 do método do intercâmbio de antenas, segue-se:

10 - Para se mudar de métodos, usar o painel 9 do receptor referente à antena fixa (da estação A) deixando o item EPOCHS zerado. Isto fará com que o registro das observações GPS ocorra durante todo o levantamento cinemático.

11 - Ocupar a estação B com a antena móvel. No receptor correspondente, usar a tela 9 e acionar a tecla e assim que a antena estiver instalada sobre o bastão (para ficar mais leve não usar o tripé). Preencher a caderneta (opcional) utilizando-se dos painéis 1 e 2. Coletar as informações GPS por 100 segundos, até surgir '????' no item SITE do painel.

12 - Transportar o conjunto antena-receptor para a próxima estação. Durante o deslocamento procurar manter a

antena nivelada e orientada (na medida do possível) e acompanhar o CNT, através do painel 1 com o objetivo de detectar as perdas de ciclos. O método exige pelo menos quatro satélites, com elevação superior a 15° , rastreados continuamente. Caso não se consiga suprir tais exigências, deve-se reinicializar o levantamento num ponto ocupado anteriormente. Este procedimento também deve ocorrer no caso de um novo satélite ser captado.

13 - Ocupar a estação C. Usar a tela 9 para informar o novo local (SITE) com 4 dígitos. Acionar a tecla e quando a antena estiver instalada sobre o ponto. Coletar as informações GPS por 100 segundos. Anotar os dados exigidos pela caderneta usando os painéis 1 e 2.

14 - Prosseguir com o levantamento cinemático GPS ocupando as estações D, E, F, H, I, J..., observando-se as etapas 12 e 13.

15 - Reocupar a estação inicial (B) do receptor móvel para finalizar o levantamento. Isto permite verificar a continuidade dos inteiros ("integer biases")|09|.

Na verdade, há um número de situações em que alguns pontos podem não apresentar a exatidão esperada e possível de se obter com o método cinemático GPS. Em geral, o rastreamento de quatro satélites com geometria pobre, interferência na frequência das ondas de rádio (RFI) em um ponto, efemérides ruins dos satélites, dentre outras, exigem uma revisita para a checagem dos referidos pontos. Apesar da melhor solução nestas circunstâncias indicar a revisita no

próximo dia e usando uma estação fixa (base) diferente, preferiu-se reocupar todos os pontos, desta vez, usando o percurso inverso (no dia 11/11/90).

16 - Para se garantir a determinação das ambiguidades inteiras referentes à possíveis satélites captados durante o levantamento, deve-se repetir o método do intercâmbio de antenas entre as estações A e B após o levantamento cinemático. Isto, além de melhorar a exatidão das coordenadas de B, assegura a determinação das ambiguidades inteiras (N), necessárias para o processamento das observações GPS.

<u>LEVANTAMENTO CINEMÁTICO GPS</u>					
ESTAÇÃO: DDDD	BASE: CCCC	DATA: 29/11/90 HORA: 16:52		SU: 05	PDOP: 002
SATEL	20	03	09	12	13
CNT	99	99	99	99	99
S/N	45	36	80	96	27
ELEV ^o	25	21	49	83	13
URA	00	00	01	02	01

Tabela 3-3 Caderneta para o levantamento Cinemático GPS.

3.3.2.5. Do método pseudo-cinemático

O método pseudo-cinemático é similar ao cinemático quanto a obtenção das observações de campo e similar ao estático no pós-processamento. No entanto, as observações sobre os pontos desconhecidos devem ser registradas em duas épocas de 5 minutos cada, tendo um intervalo de 1 hora entre elas. Tal intervalo é suficiente para que ocorra mudança na geometria dos satélites. Isto resolve as ambiguidades das fases.

O método não exige nenhuma inicialização especial como no cinemático. As duas observações com duração de 5 minutos separadas pelos 60 minutos, é o mesmo que ocupar a linha base por uma hora continuamente. Durante o levantamento deve-se rastrear os mesmos veículos espaciais. Pois, como já visto, a cada satélite captado corresponde uma incógnita N (ambiguidade). Isto exige um bom planejamento que conduza a uma "janela de observação" com o mínimo de quatro satélites e de duração satisfatória.

Num levantamento pseudo-cinemático onde se tem que ocupar vários pontos, pode-se usar mais de um receptor móvel. Nesta situação deve-se cuidar para que os pontos sejam revisitados (segunda ocupação de 5 minutos) pelos respectivos receptores utilizados na primeira visita. Havendo uma comunicação perfeita (ou planejar antes) entre os operadores dos receptores móveis, de forma que possibilite a coleta das informações GPS, ao mesmo tempo em

todas estações, as linhas base entre elas podem ser calculadas. Torna-se redundante, mas é importante frisar que a "janela de observação" não necessita ser aumentada.

Em contraste com o método cinemático, no receptor móvel, tela 9, ítem RECORD, pode-se entrar com a informação N, durante o trajeto entre as estações. Por um lado, isto economiza a memória do receptor por não registrar as observações entre estações, no entanto, isto exige uma maior atenção do operador na próxima estação pelo fato dele ter que passar o referido ítem para Y antes de introduzir o nome (SITE) da nova estação.

No presente levantamento, o uso do método pseudo-cinemático entre as estações B e I (dia 25/11/90) e de C para E, H, I (no dia 29/11/90) tem as finalidades: de praticá-lo e de fazer a combinação com o método cinemático. Tal combinação, sugerida no segundo capítulo, é de vital importância naquelas situações em que se encontra obstruções à recepção dos sinais transmitidos pelos satélites no trajeto entre duas estações quaisquer, causando a perda de ciclos e tornando impraticável o emprego do método cinemático.

Durante a execução do método pseudo-cinemático registrou-se algumas anotações em caderneta própria. Usou-se 20 segundos como intervalo de registro das observações GPS.

<u>PSEUDO-CINEMÁTICO</u>						
DATA: 29/11/90		SECÇÃO: D		OPERADOR: PRATA/CHICO/DAVI		
BASE: PSCC		HORA INÍCIO: 18:22		HORA FINAL:		
<u>RECEPTOR MÓVEL</u>						
EST.	1ª VISITA			2ª VISITA		
	HORA	PDOP	SAT/ELEV.	HORA	PDOP	SAT/ELEV.
PSII	I18:52	004	03 20 12 16 17	I19:47	004	03 20 16 17 12
	F18:58	004	41 69 28 31 29	F19:57	005	41 79 32 50 03
PSEE	I19:04	003	03 20 12 16 17	I20:03	005	03 20 16 17
	F19:10	003	41 74 23 32 34	I20:10	006	41 73 30 55
PSHH	I19:17	003	03 20 12 16 17	I20:17	008	03 20 16 17
	F19:23	002	41 79 17 33 38	F20:24	009	40 65 27 59
<u>CROQUI / ANOTAÇÕES</u>						

Tabela 3-4 Caderneta para o método pseudo-cinemático

GPS.

3.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.4.1. Das medidas eletrônicas e nivelamento geométrico

O conjunto teodolito-distanciômetro eletrônico possibilitou os valores médios referentes aos azimutes e distâncias inclinadas (DI) entre os pontos medidos, conforme apresentado na tabela 3-5.

Os elementos da tabela 3-5 foram obtidos conforme descrição abaixo:

- i - As distâncias inclinadas (DI) representam a média de seis determinações eletrônicas fornecidas pelo distanciômetro DM-502.
- ii- Os azimutes foram obtidos considerando como referencial os azimutes, calculados à partir das coordenadas UTM (SAD-69) fornecidas pela tecnologia GPS, relativos aos lados CA e BC, respectivamente, e os ângulos horizontais coletados no campo.

LADO	DISTANCIA INCLINADA (m)		AZIMUTE
	DI (média)	σ (desvio Padrão)	
CA	115,0710	0,00058	323 ° 35' 30,24"
CB	115,4111	0,00039	319 ° 01' 20,24"
CD	14,3473	0,00094	023 ° 17' 10,24"
CE	132,1208	0,00108	072 ° 06' 10,24"
CI	178,4432	0,00108	158 ° 29' 15,24"
CJ	122,8207	0,00149	289 ° 57' 20,24"
IH	123,3613	0,00075	304 ° 44' 15,24"
BC	115,4145	0,00096	139 ° 01' 20,24"
BA	9,1447	0,00094	53 ° 22' 40,24"
BD	109,9458	0,00090	132 ° 14' 30,24"
BE	206,5155	0,00122	102 ° 59' 43,24"
BI	289,4788	0,00122	150 ° 51' 48,24"
BJ	60,1245	0,00096	221 ° 20' 55,24"

Tabela 3-5 Resultados obtidos com o conjunto distanciômetro-teodolito.

O nivelamento geométrico através do uso de um nível automático (NI-33) e de uma mira centimétrica forneceu os elementos apresentados na tabela 3-6. A altitude conhecida anteriormente e considerada como referência corresponde ao marco da Estação de Marés Terrestres da UFPR, ponto A do presente levantamento. Tal altitude foi determinada via nivelamento geométrico de alta precisão pelos alunos do Curso de Engenharia Cartográfica em 1989.

TABELA 3-6

LADO	Desníveis(m)		Erro	ESTAÇÃO	Altitude (N. M. M)
	Δh_1	Δh_2	cometido(m)		
CA	+6,185	6,187	0,002	A	913,283
CB	+6,222	6,224	0,002	B	913,320
CC	0,000	0,000	0,000	C	907,097
CD	-0,010	0,010	0,000	D	907,087
CE	+5,099	5,100	0,001	E	912,197
CH	-0,442	0,442	0,000	H	906,655
CI	+9,131	9,132	0,001	I	916,229
CJ	+5,527	5,529	0,002	J	912,625

Tabela 3-6 Resultados do nivelamento geométrico.

O nivelamento geométrico do polígono apresentou um erro total de 4 mm. Ele satisfaz a exigência de $6 \text{ mm} \sqrt{K}$ (ver quadro 3-1).

3.4.2. Da tecnologia GPS

O pós-processamento dos dados GPS coletados com os receptores ASHTECH XII é feito com o pacote de programas ASHTECH XII GPPS - GPS Post processing System. O apêndice A do Manual do GPPS relaciona 42 programas e fornece as finalidades dos mesmos.

Os primeiros experimentos realizados nos dias 04/11 (transporte de coordenadas do ponto P-02 para o ponto A) e 11/11/90 (intercâmbio de antenas na base AB e levantamento cinemático tendo a estação A como fixa) possibilitaram os resultados apresentados na tabela 3-7.

LADO	Distância Inclinada(m)	Azimute Geodésico(°)	Desnível (m)	RMS (m)
P-02 →A	5.390,4243	146,18661	+6,539	0,07686
AB	9,170	----	+0,036	0,06356
AC	115,1173	142,82810	-6,181	0,00499
AD	108,5541	136,24971	-6,191	0,00755
AE	200,7300	104,23319	-1,101	0,05735
AD	108,5745	136,24963	-6,201	0,09000
AC	115,1220	142,83734	-6,193	0,09000

Tabela 3-7 Resultados dos primeiros experimentos.

Comparando os resultados obtidos para os pontos reocupados e as exigências do quadro 3-1, obtem-se:

LADO	RESULTADO	DI STANCI A(m)	DESNÍ VEL(m)	AZI MUTE(")
AC	obtido	0,0047	0,012	33,26
	exigido	0,023	0,002	8
AD	obtido	0,0204	0,010	0,288
	exigido	0,0216	0,002	8

Tabela 3-8 Comparação entre os resultados dos primeiros experimentos GPS e os exigidos.

Analisando a tabela 3-8, verifica-se que a tecnologia GPS pode atender a exatidão requerida para os levantamentos locais.

Considerando a linha base AB determinada nos primeiros experimentos e a estação B como fixa, os experimentos relativos ao dia 25/11/90 forneceram os resultados apontados na tabela 3-9 para o levantamento cinemático GPS.

LADO	Distância Inclinada(m)	Azimute Geodésico(°)	Desnível (m)	RMS (m)
BA	9,185	52,95378	-0,0217	0,00362
BC	115,4397	138,27076	-6,211	0,09000
BD	109,9764	131,48269	-6,2360	0,03805
BE	206,5606	102,23754	-1,1401	0,05071
BH	187,1903	166,92854	-6,6564	0,03514
BI	289,5278	150,10185	+2,8886	0,04190
BJ	60,1419	220,59226	-0,6356	0,09000

Tabela 3-9 Resultados do levantamento cinemático com base conhecida.

No dia 25/11/90 executou-se o método pseudo-cinemático envolvendo as estações B (fixa) e I (móvel). O receptor móvel permaneceu na estação I durante todo o tempo mas, os dados GPS foram registrados somente 10

minutos na 1^a visita e 10 minutos na 2^a visita com intervalo de 40 minutos entre as visitas. Os resultados obtidos são:

LADO	Distância(m)	Azimute Geod.(°)	Desnível(m)	RMS(m)
BI	289,5073	150,09705	+2,8996	0,026789

As listagens referentes ao pós-processamento dos dados GPS relativos ao transporte de coordenadas do ponto PP01 para o ponto C; dos métodos combinados: Intercâmbio de antenas-levantamento cinemático tendo o ponto C como estação fixa e de alguns arquivos de saída, fazem parte do apêndice II desta.

No entanto, serão destacados alguns resultados parciais referentes aos métodos rápidos de posicionamento GPS. A tabela 3-10 mostra aqueles obtidos com o transporte de coordenadas, intercâmbio de antenas e cinemático.

LADO	Distância Inclinada(m)	Azimute Geodésico(°)	Desnível (m)	RMS (m)
PP01-C	9067,4661	189,09110	-41,7360	0,080548
CA	115,1048	322,83530	+ 6,1758	0,01119
CB	115,4525	318,26421	+ 6,2127	0,00598
CD	14,3947	22,59207	+ 0,0025	0,00445
CE	132,1465	71,32768	+ 5,0882	0,09000
CH	102,1713	199,71066	- 0,4370	0,09000
CI	178,4701	157,73090	+ 9,1182	0,09000
CJ	122,8410	289,20056	+ 5,5254	0,01708

Tabela 3-10 Resultados referentes ao levantamento cinemático com intercâmbio de antenas (29/11/90).

O método pseudo-cinemático realizado no dia 29/11/90, apresentou resultados não muito satisfatórios pois, os dados foram coletados com o rastreamento de somente 4 satélites e as observações registradas com intervalo de 20 segundos por um período de somente 5 minutos. Isto, certamente, contribuiu para os resultados.

LADO	Distância Inclinada(m)	Azimute Geodésico(°)	Desnível (m)	RMS (m)
CE	131,1438	71,04636	5,6934	0,156847
CH	102,1111	199,63497	-0,9555	Não fixou
CI		dados insuficientes		

No apêndice II encontram-se as coordenadas do polígono levantado, nos sistemas WGS-84 (tridimensionais e elipsoidais) e SAD-69 (tridimensionais, elipsoidais e UTM). Para se obter as referidas coordenadas optou-se pelos melhores resultados encontrados nos experimentos com a tecnologia GPS.

A análise dos resultados obtidos com as diferentes tecnologias e métodos permite confirmar a aplicabilidade dos métodos rápidos de posicionamento GPS nos levantamentos geodésicos locais.

As vantagens e os efeitos tecnológicos oriundos do uso do sistema NAVSTAR-GPS na Geodésia, Topografia e Agrimensura serão enfatizados no próximo capítulo.

4. CUSTOS E BENEFÍCIOS

4.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo está reservado para a apresentação de aspectos atinentes aos custos e benefícios oriundos da utilização de uma nova tecnologia nos levantamentos geodésicos .

Os méritos do sistema de posicionamento global (GPS) podem ser imediatamente compreendidos por qualquer pessoa familiarizada com as tecnologias de posicionamento geodésico. Intuitivamente, conclui-se que a aplicação da tecnologia GPS de posicionamento é favorável. No entanto, em se tratando de organizações empresariais torna-se inconcebível a idéia de mudança na metodologia sem uma análise mais profunda. Mesmo porque, investimentos serão indispensáveis, tanto na aquisição quanto na manutenção e atualização da nova tecnologia.

Objetivando uma conclusão melhor sedimentada acerca das vantagens oferecidas pelo sistema NAVSTAR-GPS, foram coletadas informações junto a empresas e profissionais. Espera-se assim, fornecer alguns elementos quantitativos para o balizamento de futuras análises e tomadas de decisões.

4.2. BENEFÍCIOS

Antes de dar enfoque ao impacto financeiro do sistema de posicionamento global (GPS), é requerida uma revisão dos efeitos desta nova tecnologia para a Geodésia, Topografia, Agrimensura e Cartografia em geral.

4.2.1. Efeitos tecnológicos

Não se pode fechar os olhos aos avanços tecnológicos presentes no mercado internacional. O GPS, com certeza, causará um grande impacto nos levantamentos geodésicos e no mapeamento, tanto na qualidade quanto na produtividade.

Nos países mais desenvolvidos, e mesmo no Brasil, o gerenciamento de bancos de dados em paralelo com a descrição espacial, tem proporcionado a criação de eficientes sistemas de informações geográficas (GIS). Nos níveis municipal, estadual e nacional, a tendência natural é a existência de tais sistemas de informações. Estes se justificam cada vez mais, principalmente, por possibilitarem informações espaciais e descritivas sempre atualizadas. No entanto, quanto mais eficiente for a tecnologia utilizada para se fornecer as descrições espaciais aos GIS, mais eficientes estes o serão.

Os dados GPS coletados no campo são armazenados em fitas magnéticas. Isto possibilita o seu uso na confecção de cartas digitais, favorecendo grande parte da digitalização

de dados diminuindo a distância entre a obtenção das informações e a produção dos mapas |34| e |35|.

A antiga e crucial problemática referente a utilização de referenciais geodésicos de caráter global (mundial), é praticamente contornada com o World Geodetic System-84 - WGS-84|51|. Existem parâmetros de transformação entre WGS-84 e os principais data¹ empregados em diferentes partes da Terra. Isto permite o estudo do nosso planeta em um sistema único.

A disponibilidade dos satélites do sistema NAVSTAR-GPS, quando a constelação estiver completa (1993, capítulo 1), permitirá o posicionamento geodésico a qualquer hora e em qualquer lugar. Somando-se a isto, os constantes avanços metodológicos obtidos pelos pesquisadores da comunidade geodésica internacional, num breve futuro se conferirá ao sistema GPS a responsabilidade de uma marcante revolução tecnológica no campo da Geodésia e ciências afins.

A exemplo dos benefícios e dos avanços trazidos pelo advento dos medidores eletrônicos de distância nas décadas de 50 e 60, a comunidade geodésica será (já está sendo) contemplada com a tecnologia GPS.

¹Data é o plural de datum

4.2.2. Aspectos práticos

As pessoas que trabalham com medição, registro, transações comerciais, cadastro ou uso das propriedades rurais têm conhecimento dos problemas existentes a respeito das descrições espaciais das mesmas. Pode-se atribuir como uma das causas principais de tais problemas a inexistência de um eficiente sistema cadastral referenciado a um único sistema de coordenadas. Isto contribui para as incertezas dos limites das propriedades, dos municípios, dos estados e até mesmo do país.

Considerando ser imprescindível a participação da comunidade geodésica brasileira na solução dos problemas apontados, algumas alternativas serão abordadas.

É sabido que a distribuição dos pontos do Sistema Geodésico Brasileiro não é uniforme em todo o território nacional, havendo maior concentração nas regiões mais desenvolvidas. Assim o transporte de coordenadas pelos métodos clássicos (teodolito, distanciômetro, nivelamento geométrico) pode se tornar uma tarefa árdua, demorada e onerosa nas regiões com menor concentração de pontos do SGB.

Optando pelas determinações astronômicas deve-se atingir as precisões indicadas no quadro 4.1.

QUADRO 4.1				
Classe	Latitude(ϕ_{α}) e Longitude(λ_{α})		Azimute(A_{α})	
	desejável	Erro máximo	desejável	Erro máximo
Alta Precisão	0,1"	0,3"	0,2"	0,4"
Precisão	0,4"	1,0"	0,5"	0,5"
local	1,5"	2,0"	3,0"	3,0"

Quadro 4.1. Classificação das determinações astronômicas quanto à precisão (extraído de [13]).

As determinações astronômicas através dos métodos de Sterneck, Mayer e da estrela Sigma Octantis, respectivamente, para latitude, longitude e azimute exigem:

- observações às estrelas pelo mínimo de 6 horas em 2 noites distintas;
- equipe mínima com 1 observador, 1 anotador e 1 motorista;
- teodolito (T3A ou DKM3 A, ou melhor) e acessórios;
- cronógrafo;
- rádio receptor;
- aneróide;
- psicrômetro;
- o conhecimento do azimute (estação-mira) aproximado para se determinar ϕ_{α} e λ_{α} .

Por outro lado, a tecnologia GPS permite atingir os mesmos níveis de precisão apontados no quadro 4.1., através do posicionamento estático. As determinações absolutas fornecem precisão nominal de 30 metros (1"). Disposto do código preciso (P) pode-se chegar a 0,1" ou melhor. As determinações relativas via transporte de coordenadas asseguram precisão melhor que 1:100.000 (1^a ordem) e requerem:

- observações simultâneas pelo período mínimo de 90 minutos sobre o mínimo de quatro satélites;
- equipe de dois operadores dos receptores, sendo 1 deles motorista;
- dois receptores com possibilidade de rastrear 4 ou mais satélites;
- para grandes distâncias, acessórios que permitam obter as condições atmosféricas (umidade, pressão e temperatura)

Como se pode verificar a tecnologia GPS oferece um índice de produtividade bem superior às determinações astronômicas. É oportuno frisar que o céu estrelado é condição sine qua non para as determinações astronômicas, ao contrário da tecnologia GPS.

Retomando a problemática anunciada no primeiro parágrafo desta secção, pode-se afirmar que o GPS se constitui numa excelente alternativa para a solução da mesma. É outro tanto melhor por oferecer métodos distintos para o levantamento de toda a área da propriedade rural, ou

somente, para implantar pontos intervisíveis referenciados ao SAD-69 para posterior levantamento da área pelos métodos clássicos utilizados pela Topografia e Agrimensura.

Em relação a obtenção das alturas através da tecnologia GPS, pode-se verificar no capítulo anterior a precisão alcançada para os desníveis entre os pontos ocupados.

A altitude fornecida pelo GPS se refere à superfície do elipsóide de referência (altitude geométrica). No entanto, uma vez conhecida a ondulação geoidal no ponto geodésico tomado como referência para o transporte de coordenadas, pode-se obter a altitude em relação ao nível do mar (HNMM) dos pontos desconhecidos. Prestação de serviços neste sentido tem se tornado possível, mesmo no Brasil. Deve ser acrescentado que o mapa geoidal relativo da região levantada é possível de ser obtido. Em [27] verifica-se a afirmação: "o GPS pode fornecer informação tridimensional, a qual geralmente tem a mesma ordem de precisão para cada componente".

4.3. CUSTOS

Visando a obtenção dos preços relativos aos equipamentos e serviços, o mais próximo possível daqueles praticados no mercado, a partir do mês de junho/90 foram enviadas correspondências à algumas empresas. Os preços foram fornecidos durante o 2^o semestre/90 e convertidos à data de 21/12/90. Na referida data apontava-se a correspondência entre as moedas envolvidas:

1 dólar comercial = Cr\$ 158,00 = 1,62 BTNF

1 BTNF = Cr\$ 97,62

4.3.1. Dos equipamentos

Os preços se referem a equipamentos compatíveis com aqueles utilizados nos experimentos descritos no capítulo terceiro. No caso dos instrumentos clássicos o preço aumenta à medida que maior precisão seja requerida. Vale frisar que o levantamento executado é classificado como geodésico local ou topográfico. Por outro lado, os receptores GPS utilizados nos experimentos são os mesmos para situações em que se exija maior precisão.

Os equipamentos são, quase na totalidade, importados. As relações comerciais realizadas entre compradores e vendedores de diferentes países se tornam complexas e os contratos internacionais requerem cláusulas claras para se estabelecer as condições de pagamento e entrega das

mercadorias. Algumas das propostas enviadas, fornecem o preço FOB (Free On Board) no qual, o importador assume as responsabilidades inerentes à mercadoria a partir do porto de origem. Outras propostas fornecem o preço CIF (Cost, Insurance, Freight) no qual, estão incluídos o custo, seguro e frete até o porto de destino.

O custo dos equipamentos apresentado no quadro 4.2. se referem ao preço CIF. Para obtê-lo fez-se necessário aplicar uma correção de cerca de 30% nos preços FOB dos equipamentos GPS. Tal valor foi extraído da experiência de representantes dos equipamentos.

QUADRO 4.2.		
Instrumentos Clássicos	Preço(Cr\$)	Dólar US\$
Distanciômetro DM-504	4.000.000,00	
Prismas refletores (03)	948.000,00	
Tripé telescópio p/prismas	343.000,00	
Teodolito K1-S ou K1-M	2.000.000,00	
Tripé do Teodolito	38.150,00	
Nível NA-2 c/tripé	760.000,00	
Mira centimétrica	18.000,00	
Balizas (ϕ 3/4")	2.300,00	
Preço total (Inst. Clássico)	8.109.450,00	51.325,63
Receptor GPS (com 12 canais)	7.189.000,00	
Preço total (2 receptores)	14.378.000,00	91.000,00

Quadro 4.3. Demonstrativo dos preços (CIF) dos equipamentos.

O preço do receptor GPS prevê o acompanhamento dos seguintes acessórios:

- antena de precisão
- bateria externa
- carregador de bateria
- cabo de força para bateria
- cabo de antena (de 10 metros)
- cabo RS-232 para transmissão de dados

- manuais de operação
- software de pós-processamento para posicionamento relativo estático, cinemático, intercâmbio de antenas e pseudo-cinemático
- treinamento no Brasil
- 1 (um) ano de garantia.

Os preços dos equipamentos necessários para as determinações astronômicas (relacionadas na subsecção 4.2.2) não estão incluídos no quadro 4.2. Logicamente, eles contribuiriam para um considerável aumento do preço total dos instrumentos clássicos.

No quadro 4.3. são apresentados os preços mensais de locação dos equipamentos.

QUADRO 4.3		
Instrumentos	Preço(Cr\$)	Dólar
Conjunto distanciômetro/ teodolito	180.000,00	1.139,24
Nível	30.000,00	190,00
Total 1	210.000,00	1.329,24
Receptor GPS	1.185.000,00	7.500,00

Quadro 4.3. Demonstrativo do Preço mensal da locação dos equipamentos.

Analisando os preços apresentados nos quadros 4-2 e 4-3 e considerando que uma empresa tenha interesse em pagar o equipamento adquirido locando-o a outras empresas, pode-se verificar os prazos para a quitação dos mesmos.

Para os instrumentos clássicos relacionados no quadro 4-2 o prazo total é de 38,616 meses ou 1.158 dias de locação.

No caso dos dois receptores GPS o prazo total seria de 10,4 meses ou 312 dias de locação.

Em relação ao fator de manutenção dos equipamentos não se coletou dados quantitativos. Os instrumentos clássicos são conhecidos a muitos anos pela comunidade geodésica. O mesmo não se pode dizer dos equipamentos GPS. Mas, por serem instrumentos eletrônicos a tendência natural é de ter um baixo custo de atualização. Podem ser mais facilmente adaptados aos novos modelos que surgirem, através da colocação de "chips" eletrônicos. Este fator, de adaptação aos novos modelos, se torna complexo para os instrumentos clássicos.

4.3.2. Da prestação de serviços

Os preços de prestação de serviços coletados junto as empresas se referem, especificamente, às circunstâncias apresentadas na secção 3.2 desta.

Conforme mencionado, o numerário foi fornecido durante o 2º semestre/90. Isto exige a conversão dos valores coletados à uma data única (21/12/90) de forma a

possibilitar uma comparação dos mesmos.

O quadro 4.4 mostra os preços médios obtidos junto as empresas consultadas.

Quadro 4.4			
Tecnologia/Métodos	Precisão Prevista	Prazo Previsto (dias)	PreçosCr\$ 21/12/90
Distanciômetro-teodolito	1:5.000	6	110.857,27
Nivelamento geométrico	6mm \sqrt{K}		
GPS - Estático	>1:100.000	5	1.265.155,20
GPS - Cinemático	>1:10.000	2	253.031,04

Quadro 4.4. Demonstrativo referente a prestação de serviços.

A exemplo do quadro 4.2, o 4.4 também não inclui os preços referentes às determinações astronômicas.

Analisando os valores coletados verifica-se que o preço médio de US\$ 1000 por ponto ocupado pelo método estático GPS decresce à medida que aumenta a quantidade de pontos a levantar. Obviamente isto ocorre para os demais métodos. Por outro lado, dentre os métodos GPS verifica-se que o levantamento cinemático GPS custa basicamente a 5^a parte do valor do estático.

A diferença de preços entre os métodos da nova tecnologia pode ser explicada pelo aumento da produtividade

provocado com o cinemático GPS. Enquanto o método estático possibilita a ocupação de 2 a 3 pontos/dia, com a atual constelação dos satélites NAVSTAR-GPS (ver ALERT no apêndice II), o método cinemático permite a visita de 12 ou mais pontos dependendo da distância entre os mesmos.

O aumento da produtividade entre os métodos clássicos e GPS requer um maior investimento inicial. Por outro lado, paga-se o equipamento GPS em um tempo três vezes menor que o necessário para pagar os instrumentos clássicos. Além disto, não se pode perder de vista o leque enorme de aplicações possíveis com os receptores GPS.

4.4. O futuro próximo

É oportuno salientar que os métodos de medições geodésicas e topográficas com os distanciômetros, teodolitos e níveis ópticos continuarão a ter espaço no mercado de trabalho. Dificuldades são encontradas pela tecnologia GPS nos levantamentos cadastrais urbanos (pela presença de edifícios), nos subterrâneos, nas matas fechadas e nos locais onde existam obstruções aos sinais de rádio transmitidos pelos satélites NAVSTAR-GPS.

Os métodos GPS para posicionamento e levantamento de pontos e áreas se encontram em franco desenvolvimento, bem como, a configuração dos veículos espaciais (conforme secção 1.5). Apesar dos experimentos desenvolvidos e apresentados no presente trabalho, demonstrarem a eficiência dos métodos

que representam o estado da arte em posicionamento através de satélites, espera-se obter melhor produtividade num futuro próximo, quando a constelação dos satélites do projeto NAVSTAR estiver completa e plenamente em órbita.

5. SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES

5.1. SÍNTESE

A busca de esclarecimentos a uma dúvida provoca o surgimento de outras. No universo das ciências isto é salutar.

A dúvida inicial na preparação do projeto desta tese/dissertação, em junho de 1989, envolvia a questão: o que fazer para contribuir com a comunidade geodésica brasileira? Especificamente, na área de levantamentos geodésicos locais, por se tratar daquela em que acumulava alguma experiência pessoal.

Uma vez optado por concentrar o trabalho na área da geodésia celeste, ou melhor, da geodésia por satélites artificiais NAVSTAR-GPS, novas dúvidas suscitaram: título, métodos adequados, recursos disponíveis, cronograma, dentre outras. Aos poucos, tais dúvidas foram se desfazendo pelo auxílio constante daquelas pessoas e instituições relacionadas nas secções anteriores.

Na expectativa de apresentar soluções às dúvidas, a presente dissertação foi tomando forma e se sedimentou procurando ter como enfoque central o uso de métodos GPS adequados aos levantamentos geodésicos locais.

Os experimentos realizados no decorrer do presente trabalho, descritos no capítulo 3, possibilitaram a apresentação do quadro 5.1, o qual, sintetiza os resultados obtidos com os diferentes métodos e tecnologias.

QUADRO 5.1				
Lado	Distância (m)	Desnível (m)	Ângulo (')	horizontal ('')
CA	0,034	0,001	-	-
CB	0,041	0,001	00'	05,92''
CD	0,047	0,000	03'	44,37''
CE	0,026	0,012	01'	07,43''
CI	0,027	0,013	00'	04,94''
BC	0,025	0,001	-	-
BA	0,040	0,001	19'	-
BD	0,031	0,000	00'	27,05''
BE	0,045	0,017	00'	22,59''
BI	0,049	0,020	00'	36,08''
BJ	0,017	0,059	00'	17,60''

Quadro 5.1. Diferenças entre os resultados dos métodos convencionais e GPS.

As diferenças apontadas conduzem a uma primeira conclusão:

- os métodos rápidos de posicionamento GPS

(cinemático, intercâmbio de antenas e pseudo-cinemático) são perfeitamente adequados aos levantamentos geodésicos locais.

Os aspectos atinentes aos custos e benefícios, detalhados no capítulo 4, podem ser sintetizados pelo quadro 5.2.

Quadro 5.2		
Ítem	Instrumentos clássicos	Instrumentos GPS
COMPRA	8.109.450,00	14.378.000,00
ALUGUEL(mês)	210.000,00	1.185.000,00
SERVIÇOS	110.857,00	253.031,04
PRAZO DE PAGAMENTO(dias)	1.158	312

Quadro 5.2. Síntese dos Custos dos instrumentos referentes a 21/12/90 (em cruzeiros).

A análise dos custos e dos benefícios provocados pela tecnologia GPS, conduz a uma conclusão mais geral, no sentido de se empregar os receptores GPS nas medições geodésicas de curta distância.

5.2. RECOMENDAÇÕES

O desejo do Brasil se tornar um país-membro do primeiro mundo, vem sendo anunciado a um bom tempo. Assim, cabe à comunidade geodésica brasileira a participação no sentido de criar mecanismos eficientes e capazes de fornecer as informações espaciais (coordenadas) relativas aos vários pontos utilizados nos levantamentos locais, tanto rurais quanto urbanos, referenciados a um mesmo sistema. Isto, sem dúvida, favorecerá o estabelecimento de sistemas de informações bem eficientes, além de provocar, a médio e a longo prazo, melhor homogeneidade e uniformidade dos produtos cartográficos.

Outra meta a ser perseguida a médio prazo, é a questão cadastral das propriedades e terrenos rurais. Os profissionais responsáveis pelos registros de imóveis deveriam trabalhar em consonância com a comunidade cartográfica e vice-versa, de forma a exigir plantas e memoriais descritivos dos imóveis, referenciados a um sistema de coordenadas previamente definido pela comunidade geodésica e órgãos competentes.

Uma das condições básicas para a evolução técnico-científica de um país é a existência de instituições e de pesquisadores detentores dos recursos necessários e

indispensáveis ao desenvolvimento das pesquisas. Sabe-se das dificuldades encontradas atualmente.

Ao término de mais um trabalho, dentre os poucos específicos à Geodésia, Topografia e Agrimensura, e diante das problemáticas nele suscitadas, são cabíveis algumas recomendações à comunidade geodésica brasileira:

i - ela deve se empenhar na realização de um maior número de experimentos e observações envolvendo os métodos rápidos de posicionamento GPS, objetivando um estudo estatístico acerca dos resultados oferecidos pelos mesmos;

ii - aumentar a divulgação dos resultados obtidos em experimentos envolvendo diferentes tecnologias e/ou métodos adequados aos levantamentos geodésicos;

iii- se unir e ser coesa no cumprimento da legislação profissional, no sentido de se usar um único referencial nos levantamentos geodésicos em território brasileiro;

iv - cobrar, dos órgãos e entidades competentes, maior incentivo financeiro e estímulo profissional para a realização de pesquisas, bem como, a fixação de uma política educacional e tecnológica mais arrojada.

APÊNDICE I

**Parâmetros de Transformação
entre WGS-84 e SAD-69**

APÊNDICE I

Parâmetros para Transformação entre WGS-84 e SAD-69

I.1 - Definição do SAD-69 (vértice-Chuà)

Coordenadas astronômicas (ϕ_a, λ_a, A_a)

$$\text{Lat} = 19^\circ 45' 41,34'' \text{ Sul} \pm 0,05''$$

$$\text{Lon} = 48^\circ 06' 07,80'' \text{ W} \pm 0,08''$$

$$\text{Azimute} = 271^\circ 30' 05,42'' \text{ (Direção Chuá-Uberaba)}$$

Coordenadas geodésicas (ϕ_g, λ_g, A_g)

$$\text{Lat} = 19^\circ 45' 41,6527'' \text{ Sul}$$

$$\text{Lon} = 48^\circ 06' 04,0639'' \text{ W}$$

$$\text{Azimute} = 271^\circ 30' 04,05'' \text{ (Direção Chuá-Uberaba)}$$

$$\text{Equação de Laplace: } A_g = A_a + (\lambda_a - \lambda_g) \text{ sen } \phi_g$$

Componentes do desvio da vertical

$$\xi_o = \phi_a - \phi_g = +0,31''$$

$$\eta_o = (\lambda_a - \lambda_g) \cos \phi_g = -3,52''$$

$$\text{Ondulação geoidal } (N_o) = 0 \text{ metros}$$

Semi-eixo maior do elipsóide de referência (SGR-67)

$$a = 6.378.160,000 \text{ metros}$$

Achatamento (f)

$$1/f = 1/298,25$$

I.2 - Definição do WGS-84

Na referência |51| encontra-se outros parâmetros do WGS-84.

Semi-eixo maior do elipsóide de referência (a)

$$a = 6.378.137,000 \text{ metros}$$

Achatamento (f)

$$1/f = 1/298,257\ 223\ 563$$

I.3 - Parâmetros de Transformação: WGS-84 para SAD-69

Extraídas de |11| e |51|.

$$\Delta_x = 66,87\text{m} \quad \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \quad 0,43\text{m}$$

$$\Delta_y = -4,37\text{m} \quad \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \quad 0,44\text{m}$$

$$\Delta_z = 38,52\text{m} \quad \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \quad 0,40\text{m}$$

I.4 - Sequência de cálculos para transformação entre os sistemas. Extraída de |51|.

-Obtenção das coordenadas tridimensionais (x_1, y_1, z_1) no sistema WGS-84.

-Obtenção das coordenadas tridimensionais (x_2, y_2, z_2) no sistema SAD-69.

$$x_2 = x_1 + \Delta_x$$

$$y = y_1 + \Delta_y$$

$$z = z_1 + \Delta_z$$

-Obtenção das coordenadas geodésicas (ϕ_2, λ_2, H_2) no sistema SAD-69 com o formulário apresentado em |51|.

APÊNDICE II

Listagens do processamento dos dados GPS

- II.1 - Tabela do ALERT e gráfico polar.
- II.2 - Primeiros experimentos com os métodos Intercâmbio de antenas e Cinemático (11/11/90).
- II.3 - Levantamento Cinemático com base conhecida (25/11/90).
- II.4 - Transporte de Coordenadas (29/11/90).
- II.5 - Levantamento Cinemático com Intercâmbio de antenas (29/11/90).
- II.6 - Coordenadas dos pontos levantados - WGS-84.
- II.7 - Coordenadas dos pontos levantados - SAD-69.

II.1 - Tabela do ALERT e gráfico polar

Table 1

Satellite visibility for LAT: 525-27-17.10 LONG: W49-14-17.20 Alt: 917.400(m) Curitiba, PR
 Date of Table: 29-NOV-90 (Day 333) Date of Almanac: 01/0-77/9 Cut off Angle: 15 Min Visible Sats: 4

Alm Ref	562	562	562	562	562	562	562	562	562	562	562	562
SV Num	2	3	6	7	11	12	13	14	15	16	17	18
LCL Time	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ
00:00:00		25 52			32 205						32 118	
00:20:00		19 44			41 202						28 107	
00:40:00		11 38			51 201						24 100	
01:00:00		4 33			61 202						20 91	
01:20:00					72 207				1 239		15 83	
01:40:00					80 238	1 128		4 288	6 234		10 75	
02:00:00					80 308	1 136		8 277	12 228		3 68	
02:20:00					70 333			13 271	19 224			
02:40:00					59 341			17 263	26 220			
03:00:00					49 345			22 254	33 217			
03:20:00					39 347			26 246	41 214			
03:40:00					29 350			30 237	50 214			5 313
04:00:00					20 352			34 228	59 215			18 302
04:20:00					11 355			39 219	68 222			24 295
04:40:00					3 358			44 209	74 240			30 287
05:00:00							4 213	49 199	79 285			35 277
05:20:00							7 221	54 187	74 324			40 267
05:40:00							9 229	59 174	65 340			43 255
06:00:00							9 238	64 157	55 347			46 242
06:20:00							8 247	67 134	45 351			49 229
06:40:00							5 256	68 108	36 354			50 215
07:00:00							2 265	65 84	27 357			52 201
07:20:00								59 66	19 0	4 7		52 187
07:40:00								52 52	11 4			53 172
08:00:00								44 43	4 7			53 157
08:20:00			3 317					36 37				52 143
08:40:00	7 339		9 311					27 32				50 128
09:00:00	15 339		15 303					19 29				48 114
09:20:00	23 339		21 294					11 27				45 101
09:40:00	33 337		26 285		3 108			3 26				41 89
10:00:00	42 334		30 274		6 117							36 78
10:20:00	52 328		33 262		6 126							30 69
10:40:00	61 320		35 250	3 282	6 135							24 61
11:00:00	70 305		37 238	7 274	4 144							18 54
11:20:00	76 275		38 225	10 265	0 151							11 44
11:40:00	77 224		39 213	13 256								
12:00:00	71 196		40 201	16 247			5 9					
12:20:00	64 179		41 189	19 238			13 9					
12:40:00	57 167		42 176	22 229			22 12					
13:00:00	49 158		43 164	26 220			31 16					
13:20:00	43 151		44 151	30 211			41 19					
13:40:00	36 143		45 137	34 202			52 24					
14:00:00	31 136		45 123	39 193		4 233	62 32					
14:20:00	26 128		44 108	45 184		9 225	72 49					
14:40:00	21 121		43 94	51 173		15 219	77 87					
15:00:00	16 113		39 81	57 160		21 213	73 129					
15:20:00	12 106		35 68	63 142		28 207	64 147					
15:40:00	8 98		29 58	67 118		36 202	54 154					
16:00:00	4 91		23 49	67 89		45 197	44 155					
16:20:00		1 318	16 42	63 64		54 192	35 154					
16:40:00		8 312	9 34	55 46		65 188	26 152					
17:00:00		15 305	1 32	47 35		75 182	18 149					
17:20:00		21 296		37 27		87 151	11 145					
17:40:00		26 286		27 22		81 12	4 139					
18:00:00		30 275		18 19		69 22						
18:20:00		33 263		9 17		58 2						
18:40:00		35 251				47 1						
19:00:00		37 238				36 1						
19:20:00		38 226				26 1						
19:40:00		39 213				15 2						
20:00:00		40 201				8 2						
20:20:00		41 189										
20:40:00		42 176										
21:00:00		43 164										
21:20:00		44 151										
21:40:00		44 136										
22:00:00		44 124										
22:20:00		44 110										
22:40:00		44 96										
23:00:00		39 82			4 223							
23:20:00		35 70			11 217							
23:40:00		30 60			18 212							
00:00:00		24 51			26 208							
					34 204							

Table 2

Satellite visibility for LAT: S25-27-17.10 LONG: W49-14-17.20 Alt: 917.400(m) Curitiba, PR
 Date of Table: 29-NOV-90(Day 333) Date of Almanac: 01/0-77/9 Cut off Angle: 15 Min Visible Sats: 4

Alt Ref	562	562	562	562
SV Num	18	19	20	21
LCL Time	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ
00:00:00				66 269
00:20:00				68 243
00:40:00				67 218
01:00:00				63 197
01:20:00				59 181
01:40:00				53 169
02:00:00				49 158
02:20:00				43 148
02:40:00				38 139
03:00:00				34 130
03:20:00	5: 343			30 121
03:40:00	12: 308			26 112
04:00:00	18 302			22 104
04:20:00	24 295			18 96
04:40:00	30: 287			14: 88
05:00:00	35: 277	5: 339		9: 80
05:20:00	40 267	13: 339		4: 73
05:40:00	43 255	21 339		
06:00:00	46 242	29 337		
06:20:00	49 229	38 334		
06:40:00	50 215	48 330		
07:00:00	52 201	57 323		
07:20:00	52 187	66 311		
07:40:00	53: 172	73 290		
08:00:00	53: 157	77: 252		
08:20:00	52: 143	74: 212		
08:40:00	50: 128	68: 189		
09:00:00	48 114	61: 174		
09:20:00	45 101	54 164		
09:40:00	41 89	47 155		
10:00:00	36 78	40 147		
10:20:00	30 69	34 139		
10:40:00	24 61	29 132		
11:00:00	18 54	24 124		
11:20:00	11: 48	19 116		
11:40:00	4: 44	15: 109		
12:00:00		10: 101		
12:20:00		6: 93		
12:40:00		2: 85		
13:00:00				
13:20:00				
13:40:00				
14:00:00				
14:20:00				
14:40:00				
15:00:00				
15:20:00		4: 260		
15:40:00		8: 252		
16:00:00		12: 245		
16:20:00		17 238		
16:40:00		22 231		
17:00:00		28: 224		
17:20:00		34 218		
17:40:00		40 211		
18:00:00		47 205		
18:20:00		55 198		
18:40:00		63 190		
19:00:00		72 178		
19:20:00		80 152		
19:40:00		82 82		
20:00:00		75 42		
20:20:00		65 29		
20:40:00		55 22		
21:00:00		45: 17		
21:20:00		36: 15		
21:40:00		27: 15		
22:00:00		18 15		
22:20:00		10: 15		
22:40:00		2: 18		
23:00:00				
23:20:00				
23:40:00				
00:00:00				

Table 1

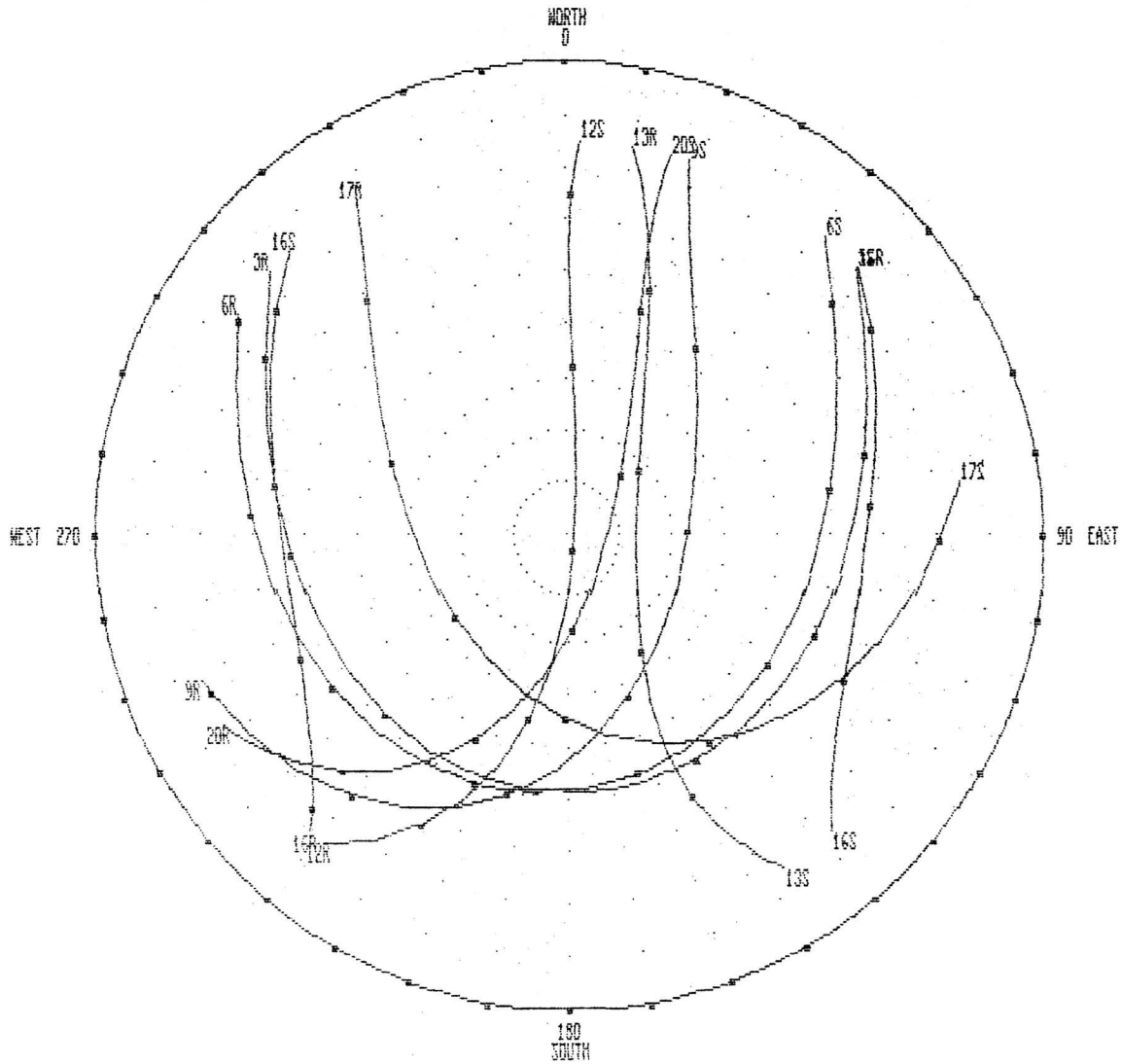
Satellite visibility for LAT: S25-27-17.10 LONG: W49-14-17.20 Alt:917.400(m) Curitiba, PR
 Date of Table: 29-NOV-90(Day 333) Date of Almanac: 01/70-32/9 Cut off Angle: 15 Min Visible Sats: 4

Alt Ref	568	568	568	568	568	568	568	568
SV Num	3	6	9	12	13	16	17	20
LCL Time	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ	EL AZ
00:00:00	16: 49						32: 118	
00:20:00	10: 42						28: 109	
00:40:00	3: 37						24: 100	
01:00:00							20: 91	
01:20:00							16: 83	
01:40:00				1: 128			12: 75	
02:00:00				1: 136			8: 68	
02:20:00								
02:40:00								
03:00:00								
03:20:00								
03:40:00								
04:00:00								
04:20:00								
04:40:00								
05:00:00					4: 213			
05:20:00					7: 221			
05:40:00					9: 229			
06:00:00					9: 238			
06:20:00					10: 247			
06:40:00					10: 256			
07:00:00					12: 265			
07:20:00								
07:40:00								
08:00:00								
08:20:00		3: 317						
08:40:00		9: 311						
09:00:00		15: 303						
09:20:00		21: 294						
09:40:00		28: 284				5: 217		
10:00:00		30: 273				12: 220		
10:20:00		33: 262				19: 223		
10:40:00		35: 250				25: 229		
11:00:00		37: 237	3: 282			30: 236		
11:20:00		39: 225	7: 274			34: 246		
11:40:00		39: 213	10: 265			36: 257		
12:00:00		40: 201	13: 256			36: 268		
12:20:00		41 189	16: 247		5: 5	34: 280		
12:40:00		42 176	19: 238		13: 9	30 290		
13:00:00		43 164	22 229		22 12	25 299		
13:20:00		44 151	26 220		31 16	20 308		
13:40:00		45 137	30 211		41 19	15 315		
14:00:00		45 123	34 202	4: 233	51 24	10: 322		
14:20:00		44: 108	39: 193	9: 226	62: 31	4: 329		
14:40:00		42 94	45: 184	15: 219	71: 48	2: 336		
15:00:00		39 80	51 173	21 213	77: 86			
15:20:00		35 68	58 159	28 207	73 129			
15:40:00		29 58	63 142	36 202	64 147			
16:00:00	3: 322	23 49	67 117	45 197	54 154			4: 240
16:20:00	10: 316	16 42	67 89	54 192	45 153			8: 252
16:40:00	17 309	8: 36	63 63	65 188	35 155			13: 245
17:00:00	24 300	1: 32	55 46	76 182	28 152			17 238
17:20:00	29 290		46 35	87 159	18 149			22 231
17:40:00	34 279		37 27	81 12	11: 145			28 224
18:00:00	37 266		27 22	69 5	4: 140			34 218
18:20:00	39 253		18 19	58 2				41 211
18:40:00	41 239			46 1				48 204
19:00:00	41 226			36 1				55 198
19:20:00	42 213			26 1				64 189
19:40:00	41 200			16 2				72 177
20:00:00	41 187			7: 4				80 150
20:20:00	41 175							82 81
20:40:00	41 163							74 42
21:00:00	41: 150							65 29
21:20:00	41: 137							55 22
21:40:00	41: 125							45: 19
22:00:00	40: 112							42: 17
22:20:00	38: 99							35: 15
22:40:00	35: 85							28: 13
23:00:00	32: 75							17: 11
23:20:00	27: 64							9: 9
23:40:00	21: 55							2: 8
30:00:00	15: 47							

GPS Satellite Polar Map

Curitiba, PR
 Lat: 25 27' 17.10"
 Long: 49 14' 17.20"
 Alt: 917.40m
 Cut Off Angle: 15

Date and Times are UTC
 Start Date: 29-NOV-90 (333)
 Start Time: 2 hrs 0 mins
 Calc Span: 24 hrs 0 mins
 Alm Ref Weeks: 568



SV	Rise @ Azimuth	Rise Time	Set Time	Rise @ Azimuth	Rise Time	Set Time
3	311	333:18:33	333: 2: 4			
6	304	333:10:58	333:18:22			
9	249	333:13:55	333:20: 6			
12	219	333:16:20	333:21:23			
13	10	333:14: 5	333:18:49			
16	221	333:11:49	333:15:20	48	333:19:39	333:23: 0
17	328	333:20:19	333: 3:20			
20	241	333:18:10	334: 0: 6			

**II.2 - Primeiros experimentos com os métodos
Intercâmbio de antenas e Cinemático (11/11/90)**

ARQUIVO "SUMMARY.OUT" - DIA 11/11/90

PROCESS run on 11/11/1990 at 22:21

KINSRVY Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS	RATIO	SOL
AAAA	BBBB	E	9.170	0.06356	N/A	SWAP
AAAA	CCCC	E	115.115	0.00499	N/A	Fixed
AAAA	DDDD	E	108.552	0.00755	N/A	Fixed
AAAA	EEEE	E	200.731	0.05735	N/A	Fixed
AAAA	FFFF	E	108.575	0.09000	N/A	Fixed
AAAA	GGGG	E	115.122	0.09000	N/A	Fixed

KINEMATIC LEG COMPLETE

OBS:

1. As distâncias entre os pontos são reais
2. O RMS máximo recomendado pelo manual do GPPS é 0.09000.

ARQUIVO "MARKPOS.ASC" - DIA 11/11/90

NMBR	NAME	K	ANT	LAT.	LON.	E_HT	B-FILE	RMS
0000	AAAA	0	1.641	S 25 27 17.09870	W 49 14 17.19735	917.370	AAAAAE90.315	0.005000
0001	BBBB	3	1.641	S 25 27 17.27964	W 49 14 17.45808	917.406	BBBBBE90.315	0.058560
0002	CCCC	1	1.641	S 25 27 20.07477	W 49 14 14.71161	911.189	CCCCBE90.315	0.009986
0003	DDDD	2	1.641	S 25 27 19.64234	W 49 14 14.51512	911.179	DDDDBE90.315	0.012554
0004	EEEE	3	1.641	S 25 27 18.70216	W 49 14 10.23398	916.269	EEEEBE90.315	0.062349
0005	FFFF	3	1.641	S 25 27 19.64284	W 49 14 14.51455	911.169	FFFFBE90.315	0.095000
0006	GGGG	3	1.641	S 25 27 20.07528	W 49 14 14.71198	911.177	GGGGBE90.315	0.095000

OBS:

1. Coordenadas no sistema WCS-84
2. Primeiros experimentos com os métodos combinados: intercâmbio de antenas e cinemático.

**II.3 - Levantamento Cinemático
com base conhecida (25/11/90)**

ARQUIVO "LOGTIMES" - DIA 25/11/90
 LEVANTAMENTO CINEMÁTICO COM BASE CONHECIDA

INT#	MJD	TSTART	TEND	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
0	48220	19:32:10.00	19:36:20.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
1	48220	19:36:20.00	19:42:20.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
2	48220	19:42:20.00	19:45:35.00	BBBB	AAAA	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
3	48220	19:45:35.00	19:51:25.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
4	48220	19:51:25.00	19:53:00.00	BBBB	CCCC	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
5	48220	19:53:00.00	19:54:25.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
6	48220	19:54:25.00	19:56:00.00	BBBB	DDDD	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
7	48220	19:56:00.00	19:57:20.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
8	48220	19:57:20.00	19:58:55.00	BBBB	CCCC	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
9	48220	19:58:55.00	20:00:30.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
10	48220	20:00:30.00	20:02:05.00	BBBB	DDDD	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
11	48220	20:02:05.00	20:04:45.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
12	48220	20:04:45.00	20:06:20.00	BBBB	EEEE	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
13	48220	20:06:20.00	20:11:20.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
14	48220	20:11:20.00	20:12:55.00	BBBB	HHHH	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
15	48220	20:12:55.00	20:16:20.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
16	48220	20:16:20.00	20:17:55.00	BBBB	IIII	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
17	48220	20:17:55.00	20:22:10.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
18	48220	20:22:10.00	20:23:45.00	BBBB	HHHH	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
19	48220	20:23:45.00	20:27:55.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
20	48220	20:27:55.00	20:29:30.00	BBBB	CCCC	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
21	48220	20:29:30.00	20:33:45.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
22	48220	20:33:45.00	20:35:20.00	BBBB	JJJJ	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
23	48220	20:35:20.00	20:36:35.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
24	48220	20:36:35.00	20:38:10.00	BBBB	JJJJ	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
25	48220	20:38:10.00	20:41:00.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
26	48220	20:41:00.00	20:42:35.00	BBBB	AAAA	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
27	48220	20:42:35.00	20:45:25.00	BBBB	????	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
28	48220	20:45:25.00	20:48:20.00	BBBB	AAAA	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
29	48220	20:48:20.00	20:51:10.00	????	AAAA	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
-1	99999	99:99:99.00	99:99:99.00										

OBS:

1. A base BA foi determinada nos primeiros experimentos (do dia 11/11/90).

ARQUIVO "MARKPOS.ASC" - DIA 25/11/90

NMBR	NAMK	K	ANT	LAT.	LON.	E_HT	B-FILE	RMS
0000	BBBB	0	1.641	S 25 27 17.27964	W 49 14 17.45808	917.406	Ubbbbb90.329	0.005000
0001	AAAA	2	1.641	S 25 27 17.09870	W 49 14 17.19735	917.370	Uaaaaa90.329	0.050000
0002	CCCC	3	1.641	S 25 27 20.07510	W 49 14 14.71106	911.173	Uaaaaa90.329	0.055279
0003	DDDD	2	1.641	S 25 27 19.64281	W 49 14 14.51418	911.170	Uaaaaa90.329	0.043051
0004	EEEE	3	1.641	S 25 27 18.70220	W 49 14 10.23356	916.266	Uaaaaa90.329	0.055705 ✓
0005	HHHH	2	1.641	S 25 27 23.20052	W 49 14 15.94385	910.750	Uaaaaa90.329	0.040137 ✓
0006	IIII	2	1.641	S 25 27 25.43461	W 49 14 12.29326	920.295	Uaaaaa90.329	0.046903 ✓
0007	JJJJ	3	1.641	S 25 27 18.76345	W 49 14 18.85852	916.770	Uaaaaa90.329	0.095000

OBS:

1. Coordenadas no sistema WGS-84
2. Levantamento cinemático com base conhecida

II.4 - Transporte de Coordenadas (29/11/90)

TRANSPORTE DE COORDENADAS - PROCESSAMENTO ESTÁTICO

Ashtech, Inc. GPPS-2

Program: LINECOMP
Fri Dec 07 14:13:30 1990

Version: 3.0.00

Project information

```

GPS Survey      |25-character project name [ The | is in column 26. ]
3330A          |5-character session name
1990 01 11 00:00:00 |Baseline occupation calendar start date-time (UTC).
1990 01 11 00:00:00 |Baseline occupation calendar end date-time (UTC).
Project information

```

Known-station parameters

```

00000          |Receiver identifier used in "LOGTIMES" file
00001          |Project station number
PP01           |4-character short name
FIXED STATION  |25-character long name
0              |Position extraction (0=below,1=U-file,2=proj. file)
b -40.000000000 |N-Latitude degrees (g=good;b=bad)
g -25 -22 -29.15910 |N-Latitude deg-min-sec (g=good;b=bad)
b 280.000000000 |E-Longitude degrees (g=good;b=bad)
b 49 13 23.43855 |E-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)
b 80.000000000 |W-Longitude degrees (g=good;b=bad)
g 49 13 23.43855 |W-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)
g 952.9306      |Ellipsoidal height (m) (g=good;b=bad)
b 0.0000        |Geoidal height (m) (g=good;b=bad)
b 0.0000        |Mean-Sea-Level ht (m) (g=good;b=bad)
b 3766645.6538  |Xecf (m) (g=good;b=bad)
b -4367271.3688 |Yecf (m) (g=good;b=bad)
b -2717050.5547 |Zecf (m) (g=good;b=bad)
0.0000         |North antenna offset(m)
0.0000         |East antenna offset (m)
1.6450 0.1100 0.0000 |Vert antenna offset (m): slant/radius/added_offset
20.0           |Temperature (degrees C)
50.0           |Humidity (percent)
1010.0         |Pressure (millibars)
UPP01A90.333   |Measurement filename (restricted to 24 characters)

```

Known-station parameters

Unknown-station parameters

```

19794          |Receiver identifier used in "LOGTIMES" file
00002          |Project station number
CCC2           |4-character short name
UNKNOWN STATION |25-character long name
0              |Position extraction (0=below,1=U-file,2=proj. file)
b -40.000000000 |N-Latitude degrees (g=good;b=bad)
g -25 -27 -19.88019 |N-Latitude deg-min-sec (g=good;b=bad)
b 280.000000000 |E-Longitude degrees (g=good;b=bad)
b 49 14 14.40816 |E-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)
b 80.000000000 |W-Longitude degrees (g=good;b=bad)

```

```

g 49 14 14.40816      |W-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)
g 931.9246            |Ellipsoidal height (m) (g=good;b=bad)
b 0.0000              |Geoidal height (m) (g=good;b=bad)
b 0.0000              |Mean-Sea-Level ht (m) (g=good;b=bad)
b 3763046.7335       |Xecf (m) (g=good;b=bad)
b -4365279.1470      |Yecf (m) (g=good;b=bad)
b -2725123.0173      |Zecf (m) (g=good;b=bad)
0.0000               |North antenna offset(m)
0.0000               |East antenna offset (m)
1.6450 0.1100 0.0000 |Vert antenna offset (m): slant/radius/added_offset
20.0                 |Temperature (degrees C)
50.0                 |Humidity (percent)
1010.0               |Pressure (millibars)
UCCC2A90.333         |Measurement filename (restricted to 24 characters)
Unknown-station parameters

```

Run-time parameters

```

1                   |First epoch to process
-1                  |Final epoch to process (-1 = last available)
100.0               |Approximate seconds for tlsq processing
10.0                |Tlsq a priori bad-residual criterion (i.e.,rms_cutoff)
15.0                |Elevation cutoff angle (degrees)
1                   |Data to process (1=L1;2=L2;3=L1c;4=L1-L2;5=L1+L2)
3.0                 |Edit data with residuals greater than this*rms_cutoff
0.100000           |Tlsq convergence criterion (meters)
00 00 00 00 00 00 00 |Omit these satellites (up to 7)
10                  |Auto SV omission criterion (Percent of Reference SV)
no                  |Display good residuals (bad are always displayed)
5                   |Maximum iterations for tlsq and dlsq
slow                |Speed: fast/slow
08 00 00 00 00 00 00 |Forbidden reference SVs (up to 7)
yes                 |Apply tropo delay correction
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
00:00:0000:9999    |SV:cycle-slip:epoch_begin:epoch_end
20                  |Data quality factor (10-40; default 20)
no                  |ASCII file (DD_OBS) of double differences
yes                 |Generate "PLOTFILE" for plotting residuals
-1.0                |Int search data editing factor (1.0-3.0; auto = -1.0)
1                   |N=Extent of integer search: -N to +N for all DDs
yes                 |Demand fixed double difference processing
Run-time parameters
-----

```


LINECOMP 3.0.00 06/15/90
 Common start of two UFILES: 1990/11/29 14:18:60
 Common end of two UFILES: 1990/11/29 17:19:20
 Selected first epoch: 1
 Selected last epoch: 542
 For SV 2 there are 458 triple-difference measurements.
 For SV 6 there are 536 triple-difference measurements.
 For SV 9 there are 534 triple-difference measurements.
 For SV 12 there are 173 triple-difference measurements.
 For SV 13 there are 532 triple-difference measurements.
 For SV 16 there are 181 triple-difference measurements.
 Epoch interval (seconds): 20.000000

THE TRIPLE DIFFERENCE SOLUTION FOLLOWS:

TLSQ measure of geometry: 24.608962
 num_meas = 1875 num_used = 1875 rms_resid = 0.021154

Sigmax (cm): 1.359868
 Sigmay (cm): 1.240437
~~Sigmax (cm): 0.774404~~

x y z
 x 1.00
 y 0.57y 1.00
 z-0.77z-0.44z 1.00

del_station: -0.000073 -0.000026 0.000035

Station1: FIXED STATION	Station2: UNKNOWN STATION
(00001) (PP01)	(00002) (CCC2)
Latitude: -25.37476642 -25 22 29.15910	-25.45557665 -25 27 20.07593
E-Long : 310.77682263 310 46 36.56145	310.76257969 310 45 45.28687
W-Long : 49.22317737 49 13 23.43855	49.23742031 49 14 14.71313
E-Height: 952.9306	911.1885

Baseline vector: -3619.2899 2002.8004 -8068.9895

Mark1_xyz :	3766645.6538	-4367271.3688	-2717050.5547
Az1 E11 D1 :	189.09110	-0.3047	9067.4726
E1 N1 U1 :	-1433.6480	-8953.3800	-41.7421
Mark2_xyz :	3763026.3639	-4365268.5684	-2725119.5442
Az2 E12 D2 :	9.09722	0.2228	9067.4726
E2 N2 U2 :	1432.6834	8953.4195	41.7421

Double-Difference Epochs:

Prn: 2	Start epoch: 2	End epoch: 463
Prn: 6	Start epoch: 2	End epoch: 542
Prn: 9	Start epoch: 5	End epoch: 542
Prn: 12	Start epoch: 368	End epoch: 542
Prn: 13	Start epoch: 2	End epoch: 542
Prn: 16	Start epoch: 2	End epoch: 185

THE FLOAT DOUBLE DIFFERENCE SOLUTION FOLLOWS:

Float-dlsq measure of geometry: 0.002121
 num_meas = 1874 num_used = 1845 rms_resid = 0.075792

Reference SV: 13

amb[0] =	946205.951	SV-02	Fit: 0.073	Num meas = 450
amb[1] =	634546.947	SV-06	Fit: 0.065	Num meas = 523
amb[2] =	379124.985	SV-09	Fit: 0.060	Num meas = 530
amb[3] =	-1829051.971	SV-12	Fit: 0.130	Num meas = 164
amb[4] =	899797.086	SV-16	Fit: 0.084	Num meas = 178

Sigmax (cm): 0.038342
 Sigmay (cm): 0.049244
 Sigmaz (cm): 0.022752
 SigmaN (cy): 0.010997
 SigmaN (cy): 0.008529
 SigmaN (cy): 0.006345
 SigmaN (cy): 0.011395
 SigmaN (cy): 0.012780

x	y	z	N	N	N	N	N
x 1.00							
y 0.47y	1.00						
z-0.72z	-0.52z	1.00					
N 0.51N	0.91N	-0.69N	1.00				
N 0.52N	0.87N	-0.70N	0.93N	1.00			
N-0.59N	0.05N	0.03N	0.18N	0.19N	1.00		
N-0.84N	-0.27N	0.39N	-0.22N	-0.21N	0.76N	1.00	
N-0.86N	-0.68N	0.76N	-0.67N	-0.65N	0.41N	0.68N	1.00

del_station: 0.000359 0.000903 -0.000381

Station1: FIXED STATION	Station2: UNKNOWN STATION
(00001) (PP01)	(00002) (CCC2)
Latitude: -25.37476642 -25 22 29.15910	-25.45557651 -25 27 20.07545
E-Long : 310.77682263 310 46 36.56145	310.76257956 310 45 45.28643
W-Long : 49.22317737 49 13 23.43855	49.23742044 49 14 14.71357
E-Height: 952.9306	911.1936

Baseline vector: -3619.2921 2002.7840 -8068.9782

Mark1_xyz :	3766645.6538	-4367271.3688	-2717050.5547
Az1 E11 D1 :	189.09119	-0.3046	9067.4598
E1 N1 U1 :	-1433.6603	-8953.3651	-41.7370
Mark2_xyz :	3763026.3617	-4365268.5848	-2725119.5329
Az2 E12 D2 :	9.09731	0.2228	9067.4598
E2 N2 U2 :	1432.6957	8953.4046	41.7370

Top ten cases based on (O-C)-squared.

0	0	0	0	0	Case:	121	---	>	0.006746	ratio =	13.095
0	0	0	1	0	Case:	148	---	>	0.088336		
0	0	0	0	1	Case:	202	---	>	0.094075		
0	0	0	-1	0	Case:	94	---	>	0.102933		
0	0	0	0	-1	Case:	40	---	>	0.126824		
0	0	0	1	1	Case:	229	---	>	0.175666		
0	0	0	-1	1	Case:	175	---	>	0.190263		
0	0	0	1	-1	Case:	67	---	>	0.208414		
-1	0	0	0	0	Case:	120	---	>	0.219213		
0	0	0	-1	-1	Case:	13	---	>	0.223011		

THE FIXED DOUBLE DIFFERENCE SOLUTION FOLLOWS:

Fixed-dlsq measure of geometry: 0.000336

num_meas = 1874 num_used = 1858 rms_resid = 0.080548

Reference SV: 13

amb[0] =	946206.000	SV-02	Fit:	0.078	Num meas =	455
amb[1] =	634547.000	SV-06	Fit:	0.068	Num meas =	529
amb[2] =	379125.000	SV-09	Fit:	0.062	Num meas =	530
amb[3] =	-1829052.000	SV-12	Fit:	0.139	Num meas =	166
amb[4] =	899797.000	SV-16	Fit:	0.096	Num meas =	178

Sigmax (cm): 0.014098

Sigmay (cm): 0.020154

Sigmatz (cm): 0.013581

x	y	z
x 1.00		
y -0.61y 1.00		
z -0.62z 0.64z 1.00		

del_station: 0.000504 -0.000312 -0.000246

Station1: FIXED STATION

(00001) (PP01)

Latitude:	-25.37476642	-25	22	29.15910
E-Long :	310.77682263	310	46	36.56145
W-Long :	49.22317737	49	13	23.43855
E-Height:	952.9306			

Station2: UNKNOWN STATION

(00002) (CCC2)

	-25.45557659	-25	27	20.07573
	310.76257971	310	45	45.28694
	49.23742029	49	14	14.71306
	911.1946			

Baseline vector: -3619.2830 2002.7955 -8068.9864

Mark1_xyz : 3766645.6538 -4367271.3688 -2717050.5547

Az1 E11 D1 : 189.09110 -0.3046 9067.4661

E1 N1 U1 : -1433.6460 -8953.3737 -41.7360

Mark2_xyz : 3763026.3707 -4365268.5733 -2725119.5411

Az2 E12 D2 : 9.09721 0.2228 9067.4661

E2 N2 U2 : 1432.6814 8953.4133 41.7360

Fri Dec 07 14:41:14 1990

**II.5 - Levantamento Cinemático
com Intercâmbio de antenas (29/11/90)**

LEVANTAMENTO CINEMÁTICO
COM INTERCÂMBIO DE ANTENAS

Ashtech, Inc. GPPS-2

Program: KINSRVY
Fri Dec 07 17:40:04 1990

Version: 3.0.00

Fixed-antenna parameters

```
00000      |Receiver identifier for 'LOGTIMES' file
CCCC      |4-character site name
    20.0   |Temperature (degrees C)
    50.0   |Humidity (percent)
   1010.0  |Pressure (millibars)
UCCCCC90.333 |Measurement filename
```

Rover-antenna parameters

```
00001      |Receiver identifier for 'LOGTIMES' file
DDDD      |4-character site name
    20.0   |Temperature (degrees C)
    50.0   |Humidity (percent)
   1010.0  |Pressure (millibars)
U____C90.333 |Measurement filename
```

Run-time parameters

```
    1      |First interval to process
   -1     |Final interval to process
  15.0    |Elevation cutoff angle (degrees)
    1     |Data to process (1 = L1, 2 = L2, 3 = L1c)
  0.01000 |Convergence criterion (meters)
00 00 00 00 00 00 00 |Omit these satellites
    5     |Maximum iterations to perform
08 00 00 00 00 00 00 |Forbidden reference SVs
yes      |Apply tropo delay correction
```

Common start of two UFILES: 1990/11/29 18:18:45.00
 Common end of two UFILES: 1990/11/29 20:16:60.00
 Epoch Interval (seconds): 5.000000

FIXED: CCCC
 ROVER: DDDD
 Reference SV: 12

SV 3 Ambiguity = 401482.972
 SV 9 Ambiguity = -3918864.999
 SV 20 Ambiguity = 495920.992

Measure of Geometry (trace): 1.694342
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.09000

	Station1: CCCC	Station2: EEEE
Latitude:	-25.45557659 -25 27 20.07573	-25.45519502 -25 27 18.70207
E-Long :	310.76257971 310 45 45.28694	310.76382336 310 45 49.76409
W-Long :	49.23742029 49 14 14.71306	49.23617664 49 14 10.23591
E-Height:	911.1946	916.2828

Baseline vector: 109.6151 64.4382 35.9855

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 E11 D1 :	71.32768	2.2061	132.1465
E1 N1 U1 :	125.0977	42.2766	5.0882
Mark2_xyz :	3763135.9858	-4365204.1352	-2725083.5557
Az2 E12 D2 :	251.32714	-2.2073	132.1465
E2 N2 U2 :	-125.0982	-42.2767	-5.0882

Start time: 1990/11/29 18:59:10.00 End time: 1990/11/29 19:00:45.00

Measure of Geometry (trace): 1.509817
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.09000

	Station1: CCCC	Station2: HHHH
Latitude:	-25.45557659 -25 27 20.07573	-25.45644471 -25 27 23.20096
E-Long :	310.76257971 310 45 45.28694	310.76223713 310 45 44.05367
W-Long :	49.23742029 49 14 14.71306	49.23776287 49 14 15.94633
E-Height:	911.1946	910.7576

Baseline vector: -53.3507 9.1128 -86.6581

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 E11 D1 :	199.71066	-0.2455	102.1713
E1 N1 U1 :	-34.4593	-96.1839	-0.4370
Mark2_xyz :	3762973.0200	-4365259.4606	-2725206.1993
Az2 E12 D2 :	19.71080	0.2446	102.1713
E2 N2 U2 :	34.4590	96.1839	0.4370

Start time: 1990/11/29 19:05:35.00 End time: 1990/11/29 19:07:10.00

Measure of Geometry (trace): 1.396427
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.09000

Station1: CCCC				Station2: IIII			
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573		-25.45706530	-25 27 25.43509		
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694		310.76325120	310 45 47.70432		
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306		49.23674880	49 14 12.29568		
E-Height:	911.1946			920.3128			

Baseline vector: 10.2447 91.5642 -152.8483

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	157.73090	2.9278	178.4701
E1 N1 U1 :	67.5450	-164.9427	9.1182
Mark2_xyz :	3763036.6154	-4365177.0091	-2725272.3895
Az2 El2 D2 :	337.73061	-2.9294	178.4701
E2 N2 U2 :	-67.5442	164.9430	-9.1182

Start time: 1990/11/29 19:11:00.00 End time: 1990/11/29 19:12:35.00

Measure of Geometry (trace): 1.337005
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.09000

Station1: CCCC				Station2: IIII			
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573		-25.45706522	-25 27 25.43481		
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694		310.76325108	310 45 47.70388		
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306		49.23674892	49 14 12.29612		
E-Height:	911.1946			920.3127			

Baseline vector: 10.2377 91.5533 -152.8403

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	157.73352	2.9279	178.4573
E1 N1 U1 :	67.5326	-164.9340	9.1181
Mark2_xyz :	3763036.6084	-4365177.0200	-2725272.3815
Az2 El2 D2 :	337.73323	-2.9296	178.4573
E2 N2 U2 :	-67.5318	164.9342	-9.1181

Start time: 1990/11/29 19:14:40.00 End time: 1990/11/29 19:16:15.00

Measure of Geometry (trace): 1.279098
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.09000

	Station1: CCCC	Station2: HHHH
Latitude:	-25.45557659 -25 27 20.07573	-25.45644449 -25 27 23.20016
E-Long :	310.76257971 310 45 45.28694	310.76223714 310 45 44.05369
W-Long :	49.23742029 49 14 14.71306	49.23776286 49 14 15.94631
E-Height:	911.1946	910.7663

Baseline vector: -53.3382 9.0992 -86.6395

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	199.71503	-0.2407	102.1477
E1 N1 U1 :	-34.4587	-96.1592	-0.4283
Mark2_xyz :	3762973.0325	-4365259.4742	-2725206.1807
Az2 El2 D2 :	19.71517	0.2398	102.1477
E2 N2 U2 :	34.4584	96.1592	0.4283

Start time: 1990/11/29 19:19:15.00 End time: 1990/11/29 19:20:50.00

Measure of Geometry (trace): 1.229781
 num_meas = 18 num_used = 18 rms_resid = 0.09000

	Station1: CCCC	Station2: DDDD
Latitude:	-25.45557659 -25 27 20.07573	-25.45545657 -25 27 19.64367
E-Long :	310.76257971 310 45 45.28694	310.76263459 310 45 45.48453
W-Long :	49.23742029 49 14 14.71306	49.23736541 49 14 14.51547
E-Height:	911.1946	911.1874

Baseline vector: 7.9092 -0.7192 12.0097

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	22.54802	-0.0289	14.3981
E1 N1 U1 :	5.5210	13.2975	-0.0072
Mark2_xyz :	3763034.2799	-4365269.2925	-2725107.5315
Az2 El2 D2 :	202.54800	0.0287	4.3981
E2 N2 U2 :	-5.5211	-13.2975	0.0072

Start time: 1990/11/29 19:24:45.00 End time: 1990/11/29 19:26:20.00

Measure of Geometry (trace): 1.198684
 num_meas = 18 num_used = 18 rms_resid = 0.09000

	Station1: CCCC		Station2: BBBB
Latitude:	-25.45557659 -25 27 20.07573		-25.45479981 -25 27 17.27930
E-Long :	310.76257971 310 45 45.28694		310.76181674 310 45 42.54026
W-Long :	49.23742029 49 14 14.71306		49.23818326 49 14 17.45974
E-Height:	911.1946		917.4126

Baseline vector: -30.3117 -82.3796 75.0369

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	318.27550	3.0861	115.4805
E1 N1 U1 :	-76.7460	86.0644	6.2180
Mark2_xyz :	3762996.0590	-4365350.9530	-2725044.5042
Az2 El2 D2 :	138.27582	-3.0871	115.4805
E2 N2 U2 :	76.7465	-86.0645	-6.2180

Start time: 1990/11/29 19:30:35.00 End time: 1990/11/29 19:32:10.00

Measure of Geometry (trace): 1.188048
 num_meas = 18 num_used = 18 rms_resid = 0.09000

	Station1: CCCC		Station2: JJJJ
Latitude:	-25.45557659 -25 27 20.07573		-25.45521220 -25 27 18.76391
E-Long :	310.76257971 310 45 45.28694		310.76142772 310 45 41.13979
W-Long :	49.23742029 49 14 14.71306		49.23857228 49 14 18.86021
E-Height:	911.1946		916.7161

Baseline vector: -73.1838 -92.5782 34.0807

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	289.20882	2.5758	122.8335
E1 N1 U1 :	-115.8772	40.3733	5.5215
Mark2_xyz :	3762953.1869	-4365361.1515	-2725085.4604
Az2 El2 D2 :	109.20932	-2.5769	122.8335
E2 N2 U2 :	115.8777	-40.3734	-5.5215

Start time: 1990/11/29 19:34:30.00 End time: 1990/11/29 19:36: 5.00

Measure of Geometry (trace): 0.685503
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.01708

Station1: CCCC				Station2: JJJJ			
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573		-25.45521233	-25 27 18.76437		
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694		310.76142759	310 45 41.13933		
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306		49.23857241	49 14 18.86067		
E-Height:	911.1946			916.7200			

Baseline vector: -73.1951 -92.5845 34.0661

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	289.20056	2.5775	122.8410
E1 N1 U1 :	-115.8900	40.3591	5.5254
Mark2_xyz :	3762953.1756	-4365361.1579	-2725085.4750
Az2 El2 D2 :	109.20106	-2.5786	122.8410
E2 N2 U2 :	115.8904	-40.3591	-5.5254

Start time: 1990/11/29 19:39:20.00 End time: 1990/11/29 19:40:55.00

Measure of Geometry (trace): 0.703164
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.01119

Station1: CCCC				Station2: AAAA			
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573		-25.45474989	-25 27 17.09959		
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694		310.76188942	310 45 42.80191		
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306		49.23811058	49 14 17.19809		
E-Height:	911.1946			917.3704			

Baseline vector: -23.2470 -79.3779 80.0490

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 El1 D1 :	322.83530	3.0751	115.1048
E1 N1 U1 :	-69.4351	91.5953	6.1758
Mark2_xyz :	3763003.1237	-4365347.9512	-2725039.4921
Az2 El2 D2 :	142.83559	-3.0761	115.1048
E2 N2 U2 :	69.4356	-91.5954	-6.1758

Start time: 1990/11/29 19:43:10.00 End time: 1990/11/29 19:44:45.00

Measure of Geometry (trace): 0.712450
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.00762

Station1: CCCC			Station2: AAAA		
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573	-25.45474982	-25 27 17.09934	
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694	310.76188933	310 45 42.80159	
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306	49.23811067	49 14 17.19841	
E-Height:	911.1946		917.3819		

Baseline vector: -23.2449 -79.3941 80.0510

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 E11 D1 :	322.83403	3.0805	115.1170
E1 N1 U1 :	-69.4441	91.6030	6.1873
Mark2_xyz :	3763003.1258	-4365347.9674	-2725039.4901
Az2 E12 D2 :	142.83433	-3.0815	115.1170
E2 N2 U2 :	69.4446	-91.6030	-6.1873

Start time: 1990/11/29 19:45: 0.00 End time: 1990/11/29 19:46:35.00

Measure of Geometry (trace): 0.728921
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.00598

Station1: CCCC			Station2: BBBB		
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573	-25.45480013	-25 27 17.28047	
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694	310.76181675	310 45 42.54032	
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306	49.23818325	49 14 17.45968	
E-Height:	911.1946		917.4073		

Baseline vector: -30.3237 -82.3633 75.0069

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 E11 D1 :	318.26421	3.0842	115.4525
E1 N1 U1 :	-76.7445	86.0286	6.2127
Mark2_xyz :	3762996.0470	-4365350.9367	-2725044.5343
Az2 E12 D2 :	138.26454	-3.0852	115.4525
E2 N2 U2 :	76.7450	-86.0287	-6.2127

Start time: 1990/11/29 19:48: 5.00 End time: 1990/11/29 19:49:40.00

Measure of Geometry (trace): 0.755149
 num_meas = 19 num_used = 19 rms_resid = 0.00445

Station1: CCCC				Station2: DDDD			
Latitude:	-25.45557659	-25 27 20.07573		-25.45545664	-25 27 19.64391		
E-Long :	310.76257971	310 45 45.28694		310.76263468	310 45 45.48485		
W-Long :	49.23742029	49 14 14.71306		49.23736532	49 14 14.51515		
E-Height:	911.1946			911.1971			

Baseline vector: 7.9197 -0.7176 11.9988

Mark1_xyz :	3763026.3707	-4365268.5734	-2725119.5412
Az1 E11 D1 :	22.59207	0.0100	14.3947
E1 N1 U1 :	5.5300	13.2901	0.0025
Mark2_xyz :	3763034.2904	-4365269.2910	-2725107.5424
Az2 E12 D2 :	202.59205	-0.0102	14.3947
E2 N2 U2 :	-5.5300	-13.2901	-0.0025

Start time: 1990/11/29 19:52:50.00 End time: 1990/11/29 19:54:25.00
 Fri Dec 07 17:47:38 1990


```

0048 48224 19:52:50.00 19:54:25.00 CCCC DDDD XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0049 48224 19:54:25.00 19:59:45.00 CCCC ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0050 48224 19:59:45.00 20:01:20.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0051 48224 20:01:20.00 20:03: 5.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0052 48224 20:03: 5.00 20:04:40.00 DDDD CCCC XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0053 48224 20:04:40.00 20:06:20.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0054 48224 20:06:20.00 20:07:55.00 CCCC DDDD XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0055 48224 20:07:55.00 20:11: 0.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0056 48224 20:11: 0.00 20:12:35.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0057 48224 20:12:35.00 20:13:55.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0058 48224 20:13:55.00 20:15:30.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0059 48224 20:15:30.00 20:17: 0.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
0060 48224 20:17: 0.00 20:17: 5.00 ???? ???? XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
-1 99999 99:99:99 99:99:99

```

ARQUIVO "SUMMARY.OUT"

PROCESS run on 12/07/1990 at 17:32

KINSRVY Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS	RATIO	SOL
CCCC	DDDD	C	14.400	0.05809	N/A	SWAP
CCCC	EEEE	C	132.147	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	HHHH	C	102.171	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	IIII	C	178.470	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	IIII	C	178.457	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	HHHH	C	102.148	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	DDDD	C	14.398	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	BBBB	C	115.480	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	JJJJ	C	122.834	0.09000	N/A	Fixed
CCCC	JJJJ	C	122.841	0.01708	N/A	Fixed
CCCC	AAAA	C	115.105	0.01119	N/A	Fixed
CCCC	AAAA	C	115.117	0.00762	N/A	Fixed
CCCC	BBBB	C	115.453	0.00598	N/A	Fixed
CCCC	DDDD	C	14.395	0.00445	N/A	Fixed

KINEMATIC LEG COMPLETE

OBS:

1. As distâncias entre os pontos são reais
2. O RMS máximo recomendado pelo manual do GPPS é 0.09000.

ARQUIVO "MARKPOS.ASC"

NUMBER	NAME	K	ANT	LAT.	LONG.	EHT	B-FILE	RMS
0000	AAAA	2	1.641	S 25 27 17.09934	W 49 14 17.19841	917.382	B___C90.333	0.012618
0001	BBBB	2	1.641	S 25 27 17.28047	W 49 14 17.45968	917.407	B___C90.333	0.010977
0002	CCCC	0	1.641	S 25 27 20.07573	W 49 14 14.71306	911.195	BCCCCC90.333	0.005000
0003	DDDD	1	1.641	S 25 27 19.64391	W 49 14 14.51515	911.197	B___C90.333	0.009445
0004	EEEE	3	1.641	S 25 27 18.70207	W 49 14 10.23591	916.283	B___C90.333	0.095000
0005	HHHH	3	1.641	S 25 27 23.20016	W 49 14 15.94631	910.766	B___C90.333	0.095000
0006	IIII	3	1.641	S 25 27 25.43481	W 49 14 12.29612	920.313	B___C90.333	0.095000
0007	JJJJ	2	1.641	S 25 27 18.76437	W 49 14 18.66067	916.720	B___C90.333	0.022085

Coordenadas no sistema WGS-84

II.6 - Coordenadas dos pontos levantados - WGS-84

COORDENADAS DOS PONTOS LEVANTADOS - WGS-84

PONTO DE REFERÊNCIA - PP01

Tridimensionais

X = 3766645.6538
Y = -4367271.3688
Z = -2717050.5547

Geodésicas

LAT = 25° 22' 29.15910" S
LON = 49° 13' 23.43855" W
Altitude Elipsoidal = 952.9306 m

PONTO A

Tridimensionais

X = 3763003.1259
Y = -4365347.9676
Z = -2725039.4901

Geodésicas

LAT = 25° 27' 17.09934" S
LON = 49° 14' 17.19841" W
Altitude Elipsoidal = 917.3820 m

PONTO B

Tridimensionais

X = 3762996.0468
Y = -4365350.9364
Z = -2725044.5343

Geodésicas

LAT = 25° 27' 17.28047" S
LON = 49° 14' 17.45968" W
Altitude Elipsoidal = 917.4070 m

PONTO C

Tridimensionais

X = 3763026.3709
Y = -4365268.5736
Z = -2725119.5413

Geodésicas

LAT = 25° 27' 20.07573" S
LON = 49° 14' 14.71306" W
Altitude Elipsoidal = 911.1950 m

PONTO D

Tridimensionais

X = 3763034.2902
Y = -4365269.2909
Z = -2725107.5425

Geodésicas

LAT = 25° 27' 19.64391" S
LON = 49° 14' 14.51515" W
Altitude Elipsoidal = 911.1970 m

PONTO E

Tridimensionais

X = 3763136.0246
Y = -4365204.0794
Z = -2725083.5522

Geodésicas

LAT = 25° 27' 18.70220" S
LON = 49° 14' 10.23356" W
Altitude Elipsoidal = 916.2660 m

PONTO H

Tridimensionais

X = 3762973.0718
Y = -4365259.4146
Z = -2725206.1837

Geodésicas

LAT = 25° 27' 23.20052" S
LON = 49° 14' 15.94385" W
Altitude Elipsoidal = 910.7500 m

PONTO I

Tridimensionais

X = 3763036.6603
Y = -4365176.9576
Z = -2725272.3684

Geodésicas

LAT = 25° 27' 25.43461" S
LON = 49° 14' 12.29326" W
Altitude Elipsoidal = 920.2950 m

PONTO J

Tridimensionais

X = 3762953.1756
Y = -4365361.1579
Z = -2725085.4749

Geodésicas

LAT = 25° 27' 18.76437" S
LON = 49° 14' 18.86067" W
Altitude Elipsoidal = 916.7200 m

II.7 - Coordenadas dos pontos levantados - SAD-69

Nas transformações dos sistemas WGS-84 e das Coordenadas elipsoidais para coordenadas UTM, usou-se as coordenadas relacionadas nos arquivos "MARKOPOS-ASC" dos dias 25/11/90 (para os pontos E, H, I) e 29/11/90 (para os demais pontos) por apresentarem menor RMS.

COORDENADAS DOS PONTOS LEVANTADOS - SAD-69

PONTO DE REFERÊNCIA - PP01

Tridimensionais

X = 3766712.5238
Y = -4367275.7388
Z = -2717012.0347

Geodésicas

LAT = 25° 22' 27.38890" S
LON = 49° 13' 21.72957" W

UTM

N = 7192409.83921
E = 678818.36918
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 955.9830 m

PONTO A

Tridimensionais

X = 3763069.9959
Y = -4365352.3376
Z = -2725000.9701

Geodésicas

LAT = 25° 27' 15.32818" S
LON = 49° 14' 15.48785" W

UTM

N = 7183570.12617
E = 677198.64435
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 920.3471 m

PONTO B

Tridimensionais

X = 3763062.9168
Y = -4365355.3064
Z = -2725006.0143

Geodésicas

LAT 25° 27' 15.50931" S
LON 49° 14' 15.74912" W

UTM

N = 7183564.64946
E = 677191.27214
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 920.3720 m

PONTO C

Tridimensionais

X = 3763093.2409
Y = -4365272.9436
Z = -2725081.0213

Geodésicas

LAT = 25° 27' 18.30455" S
LON = 49° 14' 13.00251" W

UTM

N = 7183477.62741
E = 677266.86092
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 914.1598 m

PONTO D

Tridimensionais

X = 3763101.1602
Y = -4365273.6609
Z = -2725069.0225

Geodésicas

LAT = 25° 27' 17.87273" S
LON = 49° 14' 12.80461" W

UTM

N = 7183490.84099
E = 677272.56520
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 914.1620 m

PONTO E

Tridimensionais

X = 3763202.8946
Y = -4365208.4494
Z = -2725045.0322

Geodésicas

LAT = 25° 27' 16.93101" S
LON = 49° 14' 8.52305" W

UTM

N = 7183518.23401
E = 677392.55339
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 919.2321 m

PONTO H

Tridimensionais

X = 3763039.9418
Y = -4365263.7846
Z = -2725167.6637

Geodésicas

LAT = 25° 27' 21.42933" S
LON = 49° 14' 14.23328" W

UTM

N = 7183381.93524
E = 677231.20785
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 913.7137 m

PONTO I

Tridimensionais

X = 3763103.5303
Y = -4365181.3276
Z = -2725233.8484

Geodésicas

LAT = 25° 27' 23.66341" S
LON = 49° 14' 10.58271" W

UTM

N = 7183311.84532
E = 677332.27532
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 923.2589 m

PONTO J

Tridimensionais

X = 3763020.0456
Y = -4365365.5279
Z = -2725046.9549

Geodésicas

LAT = 25° 27' 16.99321" S
LON = 49° 14' 17.15009" W

UTM

N = 7183519.50859
E = 677151.53231
Meridiano Central (UTM) = -51°

Altitude Elipsoidal = 919.6843 m

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - ANDRADE, José Bittencourt de. NAVSTAR-GPS. Curitiba:
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR.
1988. 63 p.
- 02 - ———., GEMAEL, Camil. Sistema de posicionamento global:
NAVSTAR-GPS. Trabalho apresentado no ENECART, 5.,
jul/88. Presidente Prudente, 1988. "paginação
irregular".
- 03 - ———. Métodos de posicionamento geodésico com GPS. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 14. Gramado,
1989. Anais... Gramado: SBC, 1989. p.195-198.
- 04 - ———. Primeiras experiências no Brasil com o método
"Pseudo-Cinemático" de posicionamento por GPS.
Trabalho apresentado no congresso Nacional de
Engenharia de Agrimensura. Out/89. Teresina, s.n.
1989. "paginação irregular".

- 05 - ———, BLITZKOW, D.. NAVSTAR-GPS - Uma nova era para o posicionamento. Trabalho apresentado no Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, Maio/90. São Paulo. s.n. 1990. "paginação irregular".
- 06 - ANODINA, T. G. and PRILEPIN, M. T. The GLONASS system. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING, 5, Las Cruces, 1989. Proceedings... Las Cruces: NOAA. 1989. v.1. p.13-18.
- 07 - ASHKENAZI, Vidal, DE LA FUENTA, C. SUMMERFIELD, P. J. - Kinematic Surveying. In: INTERNATIONAL GPS-WORKSHOP, Darmstadt, 1988. Proceedings... Darmstadt: Springer-Verlag, 1988. 532p. p.236-247.
- 08 - ASHTECH. Ashtech XII Receiver Operating Manual. Sunnyvale: Ashtech In, 1990. 268 p.
- 09 - ———. GPS Post-Processing System Manual. 1. ed. sunnyvale: Ashhtech Inc, 1990, 268 p.
- 10 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023- Referências Bibliográficas. Ago/1989. 19 p.

- 11 - BLITZKOW, Denizar, FORTES, Luiz P. Souto, CAGNIN, Ivan F., GODOY, René A. Zepela. Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWG-922, WGS-84 e o SAD-69. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 14., 1989. Gramado. Anais... Gramado. SBC. 1989. p.157-165.
- 12 - BOMFORD, Guy. Geodesy. 4.ed. New York: Oxford University Press, 1980. 855 p.
- 13 - BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. Cartografia e Aerolevanteamento-Legislação. Brasília: COCAR, 1986. p.23-110.
- 14 - CAMPOS, Milton Azevedo. Controle da rede geodésica brasileira por meio de satélites do sistema NNSS, Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR. 1987. 118 p.
- 15 - GHAGAS, Carlos Braga. Manual do agrimensor. Rio de Janeiro: Serviço Geográfico do Exército, 1965. (Reimpresso pelo MIRAD em Brasília, 1988).
- 16 - COLLINS, James. GPS - Some Practical Considerations. s.n.t.

- 17 - DAVIS, R. E, FOOTE, F. S, KELLY, J. W.. Concepts. In:
SURVEYING - Theory and Practice. 5.ed. New York:
McGraw-Hill, 1966-1096 p. p.12-13.
- 18 - DE LUCA, Nelson. Satélites artificiais geo-síncronos e
geo-estacionários. Curitiba. Curso de Pós-Graduação
em Ciências Geodésicas/UFPR. 1982. 34 p.
- 19 - ESPARTEL, Lelis. Curso de topografia. 6.ed. Porto
Alegre: Globo, 1978. 656 p.
- 20 - FREITAS, Silvio R. C. Posicionadores Inerciais.
Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas/UFPR, 1980. 170 p.
- 21 - GEMAEL, Camil. Introdução à geodésia celeste. Curitiba:
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR.
1975 v.2. "paginação irregular".
- 22 - ——. Referenciais cartesianos utilizados em geodésia.
Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas/UFPR, 1981. "paginação irregular".
- 23 - GOAD, Clyde C., REMONDI, Benjamim W. Initial relative
positioning results using the Global Positioning
System. Bulletim Geodesique, v.58. p.193-210. 1984.

- 24 - GOAD, Clyde C. - Investigation of an alternate method of Processing Global Positioning Survey Data Collected in Kinematic mode. In: INTERNATIONAL GPS-WORKSHOP, Darmstadt, 1988. Proceedings... Darmstadt: Springer-Verlag, 1988. 532 p. p.93-106.
- 25 - GRIMM, Alice Marlene. VLBI Como instrumento da geodésia e geofísica. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR. 1982. 252 p.
- 26 - GRIPP, Joel J.. Calibração de Distanciômetros Eletrônicos com medidas de campo. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR,1986. 115 p.
- 27 - HAJELA, Dan. Obtaining Centimeter-Precision Heights by GPS Observations over small areas. GPS WORLD, jan/feb. 1990. p.55-59.
- 28 - HEIN, G. W, LANDAU, H. BAUSTERT, G. - Terrestrial and aircraft differential kinematic GPS Positioning. In: INTERNATIONAL GPS-WORKSHOP, Darmstadt, 1988. Proceedings... Darmstadt: Springer-Verlag. 1988, 532 p. p.307-348.

- 29 - ———, BAUSTERT, G., EISSFELLER, B., LANDAU, H. -
High-precision Kinematic GPS differential positioning
and integration of GPS with a Ring Laser Strapdown
Inertial System. Navigation, v.36, n.1, p.77-98.
1989.
- 30 - HOAR, Gregory J.. Topografia por satélites. Torrance:
Magnavox, 1983. "pagianção irregular".
- 31 - HOFMAN-WELLENHOF, B., REMONDI, B. W. - The antenna
exchange: One aspect of high precision GPS Kinematic
Survey. In: INTERNATIONAL GPS-WORKSHOP, Darmstadt,
1989. Proceedings...Darmstadt, Springer-Verlag. 1988.
532 p. p.261-277.
- 32 - JONES, Thomas. NAVSTAR Global Positioning System-Status
and Update. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON
SATELLITE POSITIONING, 5, Las Cruces, 1989.
Proceedings...Las Cruces, NOAA. 1989. v.1. 1168 p.
p.28-52.
- 33 - KERN. Manual de Operacion DM-502. Aaran: Kern & Cia.
S.A, [198-]. 86 p.
- 34 - KIELLAND, Peter, CASEY, Mike. GPS Cost/Benefit for
Hydrographic Surveing. GPS WORLD, Jan/feb. 1990.
p.40-45.

- 35 - ———, CASEY, Michael J.. Eletronic Chart and GPS. GPS WORLD, Jul/Aug. 1990. p.56-59.
- 36 - MERTIKAS, Stelios P., KOUTRAKIS, Stelios. Using GPS for geodethc positioning in urban Greece. GPS WORLD, Jul/Aug. 1990. p.44-49.
- 37 - MUELLER, Ivan I. Introduction to satellite geodesy. New York: Frederick Ungar Publishing, 1964. 413 p. p.268-285.
- 38 - NARD, G. P. - GPS geodesy and kinematic topography measurements and data processing. In: INTERNATIONAL GPS-WORKSHOP, Darmstadt, 1988. Proceedings... Darmstadt. Springer-Verlag. 1988. 532 p. p.278-299.
- 39 - PRYOR, Lee. TRANSIT - Status, Policy, and Plans. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING, 5, Las Cruces, 1989. Proceedings... Las Cruces, NOAA, 1989. v.1. 1168 p. p.99-117.
- 40 - PULTER, Neusa Z. Tópicos para planejamento de observações GPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 14, 1989. Gramado. Anais... Gramado: SBC, 1989. p.166-173.

- 41 - REMONDI, Benjamim W.. Using The Global Positioning System (GPS) phase observable for relative geodesy: modeling, processing, and results. Austin, 1984. 360 p. Dissertation(Ph.D). The University of Texas at Austin.
- 42 - ——.Performing Centimeter accuracy relative surveys in seconds using GPS carrier phase. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRECISE POSITIONING WITH THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM, 1, Rockville, 1985. Proceedings...Rockville, NOAA, 1985. v.2. p.789-798.
- 43 - ——.Modeling the GPS carrier phase for geodetic applications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRECISE POSITIONING WIHT THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM, 1, Rockville, 1985. Proceedings...Rockville, NOAA, 1985, v.1. p.325-336.
- 44 - ——.Performing Centimeter-Level surveys in seconds with GPS carrier phase: initial results. Navigation. v.32. n.4, p.386. 1986/86.
- 45 - ——.Kinematic and pseudo-kinematic GPS. Presented at the ION-GPS-88. Conference in Colorado Springs. Colorado. September 1988. "paginação irregular".

- 46 - ———., ASHJAEE, Javad M. Precision Survey with the ASHTECH XII GPS RECEIVER. Presented at the ION-GPS-88 Technical Meeting. Colorado Springs. Colorado. September 1988. "paginação irregular".
- 47 - RODRIGUES, Dalto D. Uma análise da geometria oferecida pela constelação final do sistema GPS para posicionamento por ponto. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas /UFPR. 1988. 92 p.
- 48 - SEEBER, Gunter. The Global Positioning System and its use in Geodesy and Geodynamics. Wuhan China, s.n. 1986. "paginação irregular".
- 49 - ———., WUBBENA, G. - Kinematic positioning with carrier phases and "on the way" ambiguity solution. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING, 5, Las Cruces, 1989. Proceedings... Las Cruces, NOAA. 1989. v.2. 1168 p. p.600-609.
- 50 - ———., HEIMBERG, F, SCHUCHARDT, A, WUBBENA, G. Developments for the operational use of GPS in Kinematic modes. In: INTERNATIONAL GPS WORKSHOP, Darmstadt, 1988. Proceedings... Darmstadt, Springer-Verlag. 1988. 532 p. p.300-306.

- 51 - SILVA, Antônio J. Prata A. Sistemas geodésicos utilizados no posicionamento por satélites NAVSTAR-GPS. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/ UFPR, 1989. 34 p.
- 52 - ———., SMIJTINK, Ricardo A. C. Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas UTM e vice-versa. Curitiba. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR, 1989. 23 p.
- 53 - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. Normas para apresentação de trabalhos. Curitiba: Editora da UFPR, 1981. 183 p.
- 54 - WELLS, David. Guide to GPS positioning. Fredericton: University of New Brunswick, 1986. "paginação irregular".
- 55 - WHITE, Haschal L, DECKER, B. Louis, KUMAR, Muneendra. World Geodetic System. 1984 - A modern and accurate global reference frame. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING, Las Cruces. 1989. Proceedings...Las Cruces, NOAA. 1989. v.1. p.127-141.
- 56 - WONG, R. V. C, SCHWARZ, K. P, CANNON, M. E. High accuracy kinematic positioning by GPS - INS. Navigation. v.35, n.2, 1988.